

본 논문은 아래의 저작권 정책을 가지고 있으니, 이용에 참고하시기 바랍니다.

- 저작권 정보 (Copyright Policy)

- 학술지 발행기관

- 재사용 정보 (CC License)

- CCL 없음

- 셀프아카이빙 정보 (Author Self-Archiving)

- Gray : 검토 중 · 비공개 · 무응답 · 기타

- 원문 접근 정보 (Reader Rights)

- 이용자 접근정책 : 법률상 저작재산권 제한규정에 따라 이용가능

- 무료 DB : KCI

시민 폭동에서 체제 전복으로: 엡스타인(Epstein)의 행위자 기반 모형의 확장

강지훈* · 김준석**

■ 목 차 ■

I. 서 론	IV. 무엇이 단순한 집단 항의를 체제 전복으로 이끄는가? 에პ스타인 모형의 확장
II. 기존 연구의 검토와 행위자 기반 모형의 소개	V. 결 과
III. 에პ스타인(Epstein)의 시민 폭동 (civil violence) 모형의 재현과 결과	VI. 결 론

● 논문요약

이 연구는 에პ스타인(Epstein 2002)의 시민 폭동모형을 확장하여 집단적 저항이 체제 전복으로 이어지는 과정을 탐구한다. 에პ스타인의 연구는 개인의 불만이라는 미시적 동기가 집단적 저항으로 발전하는 과정을 행위자 기반 모형으로 설명했으나, 저항을 일시적 현상으로 간주하여 체제 전복과 같은 지속적 사회 변화를 설명하지 못했다. 이 연구는 에პ스타인의 모형에 이웃 효과, 정보 확산, 정부 정당성의 하락 및 경찰력의 무력화 등 매개변수를 추가하여 모형을 재구성하고, 이를 통해 체제 전복의 복잡한 동학을 컴퓨터 모의실험으로 재현하였다. 연구 결과, 정부 정당성을 시간과 상황에 따라 바꾸는 변수로 간주하고, 경찰을 환경과 상호작용하는 독립적 행위자로 설정함으로써 사회적 저항이 장기적인 체제 전복으로 이어지는 과정을 설명할 수 있었다.

주제어 : 시민 폭동, 행위자 기반 모형(ABM), 정부 정당성, 체제 전복

* 동국대학교 서울캠퍼스 정치외교학과, 대학원생(제1저자)

** 동국대학교 서울캠퍼스 정치외교학과, 교수(교신저자)

I. 서 론

정치적 불안정과 시민의 집단적 저항의 관계는 사회과학의 중요한 연구 주제였다. 기존의 연구는 시민의 집단적 저항이 어떻게 발생하게 되는지를 이해하기 위해 다양한 요인을 주목했다. 사회의 구조적 불균형을 지목하기도 했고, 개인의 현 상황에 대한 불만과 심리적 요인 역시 강조되었다. 한 사회 내의 상대적 박탈을 구조화하는 민족주의나 정체성 등의 문화적 요인의 역할도 논의되었다. 그 사회의 제도적 취약성이나 자원 등의 저항을 위한 기회 구조에 주목하고 실증 연구도 제시되었다. 하지만, 이러한 연구들은 개인의 경제적 혹은 정치적 고충에 따른 불만 등이 어떻게 집단적 저항으로 확대되는지에 대해 충분히 설명하지 못 한다. 특히, 이론적 담론의 접근이든, 실증 자료에 기반한 통계적 분석이든 상당 수는 정적인 자료의 비교와 추정에 그친다.

엡스타인(Epstein 2002)의 연구는 이러한 한계를 극복하고자 한 시도로 많은 주목을 받았다. 그는 집단적 저항의 발생을 복잡계 이론의 ‘창발(emergence)’, 즉, 개인들의 미시적인 상호작용이 거시적인 특정한 구조와 질서를 만드는 현상의 관점에서 설명한다. 에პ스타인(2002)은 컴퓨터의 모의실험에 기반한 분석법인 ‘행위자 기반 모형(Agent-Based Model, 이하 ABM)’을 활용하여 개인의 동기와 행동 규칙, 그리고 이들의 상호작용을 통해 시민의 집단적 저항이 조직되는 과정을 모형화했다. 그의 시민 폭동모형(civil violence model)은 개인의 미시적 동기가 다른 행위자 및 외부의 환경과 조응하면서, 어떻게 거시적 수준의 집단행동으로 확장되는지를 성공적으로 보여주었다.

엡스타인(2002)은 그간의 연구들이 답하지 못했던 ‘시민의 불만이 어떻게 집단의 분노 표출로 발전하는가?’에 대한 질문에 새로운 시각을 제시하며, 중요한 통찰 역시 제공한다(Lemos et al. 2013). 하지만, 모형에서 시민들 불만의 집단적 표출, 혹은 시민 폭동은 일시적(spontaneous) 사건에 불과하다. 우연히 예측 할 수 없는 순간에 갑작스럽게 발생했다가, 이내 사라져 버린다. 시민의 집단적 저항은 그 사회에 강한 충격을 주지만 일시적이어서, 이후 그 사회는 원래의 상

태로 돌아가 버린다. 하지만, 근현대의 다양한 혁명 등과 같이, 예측되지 않는 상황에서 폭발하듯 터진 시민들의 집단적 분노가 계속 이어지고 확대되어서 기존의 질서를 무너뜨린 다양한 사례를 본다. 개인의 불만과 인신 구속에의 위협, 그리고 정권의 취약한 정당성이 상호작용을 하여 집단의 봉기가 이어지고, 궁극적으로는 체제를 전복하였던 역사 속의 사례들이 있다.

우리는 앱스타인의 연구에서 한 걸음 더 나아가 다음의 질문에 대한 답을 모색한다. 첫째, 집단으로 표출된 분노가 어떠한 과정을 거쳐 현재의 정체(*polity*)를 전복하는가? 둘째, 우연한 순간에 폭발하듯 터져 나온 집단의 분노를 지속하게 하고, 기존의 질서를 뒤집는 매개 요인(*parameters*)은 무엇인가? 셋째, 이러한 혁명 혹은 체제 전복의 과정을 행위자 기반 모형 기법을 활용한 컴퓨터 모의 실험(*computer simulation*)을 통해 재현할 수 있는가?

이 논문은 위의 세 질문에 답하려 한다. 우선, 일시적인 집단적 항의를 체제 전복으로 전환하게 하는 주요 매개변수의 후보를 제시하고, 앱스타인의 기존 모형에 이러한 요소들을 포함하여 재구성한다. 그리고, 이러한 변수들을 포함한 모형의 조정이 실제의 모의실험에서 체제 전복을 발생하게 하는지를 확인한다. 주변의 영향, 정보의 확산, 시민 폭동의 국지적 성공과 정치적 정당성의 상충 관계 등이 주요 변수로 활용된다. 이러한 변수를 포함한 모의실험은 일종의 가설 검증과 같은 역할을 한다. 추가된 변수가 실제 모의실험의 결과에서 체제 전복을 재현하는지, 그러한 결과가 반복된 실험에서 얼마나 안정적인지를 기준으로 해당 요인의 중요성을 평가한다. 이를 통해 체제 안정성에 영향을 미치는 다양한 요인을 통합적으로 탐구하고, 체제 전복의 동학을 이해할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 연구 질문과 관련한 기존의 논의를 살펴보고, 이 연구가 채택한 연구방법론이자, 독자들에게 다소 생소할 수 있는 행위자 기반 모형(ABM)을 설명한다. III장은 앱스타인(2002)의 시민 폭동모형을 구체적으로 살펴본다. 모형의 이론적 개요와 수학적 설정, 결론과 함의를 정리한다. 앱스타인(2002)은 그 결과는 많이 논의되지만, 그 모형의 구조와 분석은 거의 소개되지 않았다. 이는, 앱스타인(2002)이 수리 모형(a mathematical model)이고, 사회과학 분야에 낯선 기법이 활용된 점에 원인이 있다. 이 연구는 기본적

으로 앱스타인(2002)의 연구로부터 시작하며, 그의 모형을 수정과 확장을 통해 (그가 설명하지 못했던) 체제 전복의 현상을 재현하고, 이를 설명한다. IV장은 세 개의 매개변수를 제시하고 이를 모형에 포함하여, 앱스타인의 연구를 확장한다. V장은 컴퓨터 모의실험을 시행하고 그 결과를 보고한다. VI장은 결론을 맺는다.

II. 기존 연구의 검토와 행위자 기반 모형의 소개

1. 기존 연구의 검토

어떤 사회가 정치적으로 불안정하다고 해서 반드시 시민 폭동(civil violence)이 발생하는 것은 아니다. 그러나 정치적으로 안정된 사회라면 대규모 시민 소요(civil unrest)는 발생하지 않을 것이다.¹⁾ 정치적 안정성은 사회적, 경제적, 정치적 압력(stress)에도 체제가 본연의 기능을 유지할 수 있음을 의미하며, 이는 체제의 내구성과 탄력성을 판단하는 주요 기준이 된다(Cioffi-Revilla and Rouleau 2010). 안정적 체제는 집단적 소요를 억제할 수 있는 체계적인 메커니즘을 가지며, 반대로 정치적 안정성이 부재한 상황에선 체제가 대규모 시민 소요와 같은 사회적 갈등을 효과적으로 억제하지 못한다.

정치적 불안정과 시민 폭동의 관계는 거시 담론은 물론 실증 연구 등으로 다양하게 연구되었다. 막스(Marx), 틸리(Tilly), 헌팅턴(Huntington) 등의 학자들은 사회 구조, 경제적 불평등, 정치적 억압과 같은 요인들이 폭동을 유발한다고 보았다. 이들에게 폭동은 사회 구조적 불균형의 표현이며, 이러한 불균형은 집단적 행동을 촉진한다. 반면, 올슨(Olson), 거(Gurr) 등은 미시적 관점에서 개인의 심

1) 이 장의 논의는 특정 국가나 지역의 정치적 틀과 지배구조를 포괄하여 지칭하는 정체(polity)를 전제로 한다. 하지만, 정체라는 용어가 다소 추상적이고, 반복된 사용은 오히려 독자의 이해를 방해한다는 판단에서, 정체 대신 '사회'라는 쉬운 용어를 사용한다.

리적 요인, 특히 욕구 불만과 심리적 긴장을 주목했다(Rule 1988). 거(Gurr 1970)는 ‘상대적 박탈(relative deprivation)’ 개념을 제시하고, 시민들이 자신이 기대하는 것과 실제로 얻는 것의 차이가 클수록 불만을 공적으로 표출한다고 주장한다. 개인의 상대적 박탈은 민족주의나 정체성 등을 통해 집단의 행동으로 나타날 수 있다. 특히, 문화적 차이는 집단 간의 자원 경쟁을 심화시키는 주요 요인이다. 폭동이 발생할 수 있는 환경적 조건에 주목하는 연구도 다수 생산되었다. 피어론과 라이틴(Fearon and Laitin 2003)은 현재 체제의 약점, 지형적 특성, 재정적 뒷받침 등의 기회 구조가 시민의 집단적 행동에 더 큰 영향을 미친다고 주장한다. 그 사회의 제도적 구조가 취약하거나, 소요되는 자금을 확보할 수 있는 자연 자원의 유무 등은 폭동의 발생과 밀접히 연결된다(Collier and Hoeffler 1998, 2004). 국내에도 많은 분쟁에 관한 연구들이 있고, 분쟁의 연구에서 많은 성과를 쌓아 왔다(가상준 2016, 2024; 고대유 2022; 강병노 2020; 김명상 · 김주경 2022; 심성지 2020; 임재형 2019). 이러한 연구들은 시민의 집단적 저항의 발생을 이해하는 데 있어 구조적 요인, 개인의 심리적 동인, 그리고 문화적 기회 요인들의 중요성을 지적한다.

하지만, 기존의 연구들은 이러한 요인들이 어떻게 상호작용을 하여, 집단의 저항으로 나타나는지의 과정을 충분히 고려하지 못한다. 개인의 상대적 박탈이 어떻게 저항이 표출되기 위한 기회 유인과 연결되는가? 행위자의 불만 정도와 체제 저항에 따른 인신 구속의 위협 속에서 개인은 어떻게 행동하고, 통치의 정당성은 어떠한 영향을 미치는가? 무엇보다, 행위자의 개인 단위의 불만 표출이 어떠한 과정을 거쳐 집단적 저항, 나아가 체제 전환으로 바뀌게 되는 과정을 보여준 연구는 없다. 엡스타인(Epstein 2002, 2006)은 행위자 기반 모형을 활용하여, 정부의 억압과 대중의 불만 사이의 상호작용이 폭동 발생과 그 확산에 미치는 영향을 동태적으로 분석하고, 이를 통해 폭동의 발생 및 진화 과정을 창발 현상으로 이해할 수 있음을 시민 폭동 모형(Civil Violence model)을 통해 보인다.

2. 행위자 기반 모형의 소개

행위자 기반 모형(ABM)은 복잡계(complex system) 혹은 복잡 적응 체계(complex adaptive system)의 이론적 논의를 실증적으로 재현하는 컴퓨터 모의 실험 분석법이다. 복잡계 접근은 기존의 연구와 사회 현상을 바라보는 시각을 달리한다. 개인의 동기와 행동 규칙을 안다고 해서, 그러한 개인이 모인 집단의 행동 패턴을 설명할 수 없고, 예측할 수 없다. 개인의 동기와 행동 규칙은 다양하며(heterogeneous), 집단은 개인의 단순한 합으로 치환되지 않는다. 행위자 개인의 동기와 규칙만큼 그들의 상호작용이 중요하고, 상호작용이 무작위로 이어지면서 이전에 예측하지 못했던 새롭고 일관성 있는 구조와 패턴이 나타난다. 이를 복잡계 연구에선 ‘창발(emergence)’로 규정하며, 복잡계 연구의 핵심 개념이다. 즉, 창발은 다수의 분산된 행위자들이 상호작용을 통해 새롭고 일관된 구조와 패턴, 특징을 발생시키는 현상이다(Wilensky and Rand 2015). 사회 현상에 나타난 신호(signals)는 물론, 잡음(noise)으로 보이는 무작위성 역시 질서를 만드는 데 중요한 요소다.

행위자 기반 모형은 이질적 동기를 가진 행위자들이 독립된 규칙에 따라 행동하며, 계속 상호작용하면서 집합행동의 결과를 도출해 내는 컴퓨터 시뮬레이션 방법이다(김영준 2015). 행위자 기반 모형은 복잡계 이론에 기반한 설명을, 모의 실험을 통해 재현하는 데 활용되는 분석기법이다. 행위자 기반 모형의 구현을 위해선 서로 다른 동기를 가진 이질적 행위자, 이들 간의 지속적인 상호작용, 매개변수(parameters)의 조건을 달리한 계속된 실험, 실험의 무작위성(randomness) 영향을 포괄하기 위한 난수 발생기(random number generators)의 활용, 안정된 결과를 확보하기 위한 수십 혹은 수백 회의 반복 실험이 요구된다. 이는 일정 정도 이상의 프로그래밍 숙련도와 컴퓨팅을 통한 연산 능력이 요구되나, 최근의 환경 변화는 개인 연구자의 컴퓨터를 통해서도 이를 수행할 수 있을 정도로 발전하였다.

행위자 기반 모형의 장점은 다양하다. 전체적인 모형의 구조와 특징을 사전에 정의할 필요가 없다. 동일 현상에 대한 수학적 모형보다 이해하기 쉽다. 행위자

에게 다양한 동기와 규칙을 부여하며, 이들의 상호작용이 반드시 선형적일 필요는 없다. 이른바 비선형적 상호작용이 허용된다. 수십 혹은 수백 차례의 반복 실험을 통해 대규모 자료를 확보할 수 있고, 실험의 내적 타당성(internal validity)을 확보하기 쉽다. 무엇보다, 이러한 접근과 분석법은 과정(process)을 재현한다. 행위자 개인의 상호작용과 무작위성이 어떻게 결합하여 거시적인 새로운 질서와 패턴이 형성되는지를 ‘재현’을 통해 살펴보게 한다. 즉, 전통적인 평균 중심의 접근법이나 정태적 모형과는 다르게, 다양한 행위자들이 어떻게 상호작용하고 동태적으로 변화하는 과정을 보인다.

III. 엡스타인(Epstein)의 시민 폭동(Civil Violence) 모형의 재현과 결과

1. 엡스타인의 시민 폭동 모형의 개요

엡스타인(Epstein 2002)은 개인이 불만을 공적으로 드러내는 것이, 어떠한 과정을 거쳐 집단의 저항으로 전환되는지를 행위자 기반 모형을 통해 설명한다. 권위적인 정권, 특히 독재 국가에서는 시민들이 경제적 또는 정치적으로 힘들어지면, 현재 상황의 타파를 시도한다. 이러한 개인의 불만 표출이 다른 행위자의 행동 및 주변의 조건과 상호작용하면서 집단적 행동으로 발전한다. 이에 따라 정권은 경찰력을 동원해 이러한 움직임을 막는다.²⁾

엡스타인의 모형의 개요는 다음과 같다. 시민과 경찰, 두 가지 유형의 행위자가 등장한다. 시민은 광장에 무작위로 배치되고, 시간의 흐름에 따라 광장의 빈 곳으로 임의로 이동할 기회를 얻는다.³⁾ 시민은 자신의 불만을 삼키고 조용히 있

2) 엡스타인(2002)의 원형 모형에선 분노를 표출하는 시민 수가 50명 이상 출현할 때를 봉기로 정한다.

3) ABM 모형에선 시간의 흐름을 나누어 틱(tick)으로 표현한다. 각 틱의 진행에 따라, 모든

을 수 있고(quiescent), 불만을 밖으로 표출할 수도 있다(active). 이러한 시민의 의사결정은 각 시민이 가진 개별 속성과 외부의 환경, 그리고, 자신이 처한 위협의 정도에 따라 다르다. 개별 시민은 경제적 혹은 정치적 어려움(hardship, H)의 정도가 다르며, 이는 시민에게 귀속된 개별 속성이다. 모든 시민에게 적용되는 공통된 환경은 정부의 정당성(legitimacy, L)이다. 그리고 개별 시민이 현재 광장의 어디에 있느냐에 따라 (경찰에 의해) 체포될 위험이 다르다. 정부의 정당성 수준이 낮으면, 시민의 어려움이 클수록, (불만을 표출할 시) 체포될 위험이 적을수록 그 시민은 자신의 불만을 밖으로 드러내려 할 것이다.

특히 체포될 위협에 대해 일반적 셈으로 대하는 시민이 있고, 위협을 다른 이들보다 훨씬 크게 느끼는 시민도 있다. 이를 위해 시민이 경찰의 체포에 대해 느끼는 위협을 위험 중립적(risk-neutral) 태도와 위험 회피적(risk-averse) 태도의 두 가지로 구분한다. 만약 시민이 위험 중립적이라면, 자신이 현재의 정부에 대해 갖는 불만이 체포될 위험보다 크다면 광장을 통해 자신의 불만을 표출할 것이다. 하지만, 위험 회피적인 경우, 자신의 불만을 표출하는 데 소극적이다.⁴⁾

경찰은 정부의 정당성을 수호하는 행위자로서, 폭동을 일으키는 시민을 찾아다니며 체포해 감옥에 넣는다. 경찰은 이동 중 불만을 외부로 표출하는 시민을 발견하면, 이 중 한 명을 임의로 선정하여 그 시민의 위치로 이동해 감옥에 가둔다. 체포된 시민은 간혀 징역형을 받으며, 그동안 행동이 제한된다. 즉, 수감 기간에는 광장에서 불만을 표출할 수 없다. 검거된 시민을 얼마나 오랫동안 가둘 것인가는 매개변수로서, 연구자가 정한 범위에서 조정할 수 있다. 경찰의 체포 후 수감은 모형에서 어떠한 효과로 나타나는가? 먼저, 경찰이 시민의 시야에 등

행위자는 임의의 순서를 부여받고, 각자의 규칙에 따라 어떻게 행동할지 결정한다. 이 논문의 모든 시뮬레이션은 각 1,000틱을 진행한다.

4) 게임이론에서의 위험 중립적인 태도와 위험 회피적 태도 모형화의 틀을 큰 변화 없이 그대로 적용한다. 만약 1,000원을 들여 로또를 사는 경우를 생각해 보자. 위험 중립적인 구매자는 로또를 샀을 때의 기댓값 (로또에 당첨될 확률 * 로또 당첨금)이 1,000원보다 크다면, 로또를 살 것이다. 하지만, 위험 회피적인 구매자는 기댓값을 일정 부분 차감한다. 기댓값에 제곱근을 씌우거나, 소수점을 곱하는 식으로 그 가치를 차감하고, 그 값이 1,000보다 클 때, 로또를 산다.

장하는 순간 시민이 체포될 확률이 올라간다. 이에 따라 시민 중 불만을 표출하는 시민의 수는 감소한다. (불만의 표출 시) 일반 시민의 검거 확률이 오르게 된다. 이러한 구조에서, 각 행위자는 임의의 순서에 따라 자신의 규칙에 따라 행동하며, 그 결과는 시간의 흐름에 따라 기록된다.

2. 엡스타인의 시민 폭동모형의 수학적 설정

엡스타인의 시민 폭동모형의 컴퓨터 시뮬레이션을 위해, 가상의 공간을 설정해야 한다. 이를 위해 일단 가로 40×세로 40의 토러스(torus) 형 세포 공간(cellular spaces)을 만든다. 토러스 형 세포 공간은 가로와 세로가 연결된 형태의 2차원 격자 공간으로 가로와 세로의 가장자리가 서로 연결되며 전체적으로 도넛 모양이다.⁵⁾ 행위자들은 이 공간에서 자유롭게 이동할 수 있다. 모두 1,600개의 사각 공간이 만들어지고, 하나의 공간엔 한 명의 행위자만 위치할 수 있다. 시민의 수(초기 시민 밀도)와 경찰 행위자의 수(초기 경찰 밀도)를 설정한다. 초기 시민의 밀도는 0.7(1,120명), 초기 경찰의 밀도는 0.04(64명)다.⁶⁾ 시민과 경찰 모두 자신의 주변을 관찰할 수 있는 시야(V)라는 속성을 부여받는다. 행위자들은 간단

5) 40×40의 스프레드시트(spreadsheets)를 만들고 이를 가로와 세로의 가장자리를 연결한다고 생각하자. 이는 도넛 모양의 원통형 공간을 만든다. 마치 체스판처럼 구성된 1,600칸에는 한 명의 시민이나, 경찰이 위치한다(경찰이 시민을 검거할 때는 하나의 칸에 시민과 경찰이 중복될 수 있다).

6) 엡스타인(2002) 논문의 설정 수치 및 행위자의 수와 같다. 이 모형은 물론 뒤의 확장 모형 모두 넷로고(netlogo) 프로그램을 사용해 코딩하였다. 엡스타인(2002)은 모형의 구현을 위해 Java 언어로 작성된 Ascape 오픈소스 소프트웨어 프레임워크를 사용해 시뮬레이션을 구동하였으나, Ascape는 현재의 ABM 프로그래밍 환경에서는 거의 사용되지 않는다. 엡스타인(2014)도 최근의 저서에서는 넷로고 프로그램을 사용해, 시뮬레이션을 구동하였다. 이 논문은 넷로고의 모형 라이브러리(model library)의 Rebellion 프로그램을 원형으로 하되, 다음 장의 확장 모형의 3가지 변형은 직접 프로그래밍 프로시저(programming procedures)를 작성하고, 인터페이스를 구성하는 방법을택했다. 엡스타인(2002)의 원형 프로그램은 넷로고(www.netlogo.net)의 프로그램을 다운로드 후 모형 라이브러리에서 구현할 수 있다. 뒷장의 확장 모형의 코딩은 논문의 [첨부 2]를 통해 핵심 명령어 프로시저를 중심으로 요약해 제시한다.

한 규칙에 따라 움직이는 반응형 행위자로 규정되며, 각자의 순서가 되면 자신의 다음 행동을 결정한 후, 자신의 시야 범위 안에 빼어 있는 세포 공간으로 이동한다.

□ 시민

모든 시민은 ‘불만의 표출(Active)’, ‘침묵(Quiescent)’ 중 하나의 행동을 선택한다. 불만을 표출할 것인가, 침묵할 것인가의 선택은 시민의 불만(Grievance, G) 정도가 중요하게 작용한다. 시민이 경찰에 체포된 경우엔 ‘수감(Jailed)’ 상태에 처하며, 정해진 수감 기간은 행동을 선택할 수 없다. 시민의 불만인 G의 결정 함수는 아래의 〈수식 1〉과 같다.

$$G = H^*(1 - L) \quad \langle \text{수식 1} \rangle$$

(G : 시민의 불만 정도 / H : 시민이 처한 경제적·정치적 고충 정도 / L : 정부의 정당성 정도)

시민의 불만 정도(G)는 현재의 체제에서 각 시민이 처한 경제적·정치적 고충(H)의 정도와 정부의 정당성(L) 정도로 구성된 함수다. H는 [0, 1]의 범위를 갖는 균등분포(uniform distribution)에서 임의로 추출하여, 시민들에게 임의로 부여하였다. 이는 모형의 1,120명 시민의 고충이 서로 다를 수 있음을 반영한다. 정부의 정당성은 최솟값 0, 최댓값 1을 가지며, [0, 1]의 범위에서 연구자가 매개 변수로 설정할 수 있다. H와 L 모두 [0, 1]의 범위의 값을 갖기에, 이 두 변수의 곱인 G는 [0, 1] 범위의 값을 갖는다.

불만을 표출할 때 발생할 수 있는 위험도 계산하며, 이는 〈수식 2〉와 같다. P_a 는 행위자 a가 불만을 표출할 경우, 경찰에게 체포당할 확률이다. 〈수식 2〉의 함수는 사실상 이산 로짓 분석 (binary logit analysis)에 활용되는 로지스틱 분포(logistic distribution)의 형태로 구성한다. 매개변수의 값 변화에 따라 체포될 확률 0.4~0.6 구간에서 민감하게 변하며, 그 외 구간에서는 크게 반응하지 않는다. C는 행위자의 시야 내에 존재하는 경찰의 수를 의미하며, A는 행위자의 시야(V) 내에서 불만을 드러내는 시민 수이다.⁷⁾ 시민은 자신의 시야 범위 내의 경찰의

수와 불만을 표출하는 시민의 수를 세고, 자신이 체포당할 가능성을 업데이트한다. 시야 내의 경찰의 수가 적다면, 불만을 표출하는 시민의 수가 많다면 체포당 할 가능성은 적다. k 는 체포 상수로, 2.3의 값을 갖는다. 시야 내의 경찰과 폭동 중인 시민의 수가 각각 1일 때에도 체포 확률의 추정치가 1이 아닌 0.9가 되게 한다.

$$P_a = 1 - \exp(-k \times \lfloor (C/A + 1)_v \rfloor) \quad \langle \text{수식 2} \rangle$$

(P_a : 행위자 a 의 추정 체포 확률 / \exp : 지수함수 / k : 체포 확률 상수 / C : 시야 내의 경찰 수 / A : 시야 내의 폭동 중인 시민 수 / v : 시야 범위 / $\lfloor \cdot \rfloor$: 내림(floor))

순 위험(N)은 행위자 a 의 추정 체포 확률인 P_a 에 시민의 위험에 대한 태도 (R)를 반영하며, $N = P^* R$ 로 표현할 수 있다. 시민의 위험에 대한 태도에 따라 위험 중립적인 집단과 위험 회피적 집단으로 구분하며, 위험 중립적 집단의 경우 R 의 값을 1로 설정한다. 어떤 시민이 위험 중립적일 때, 그가 체포될 확률은 $P_a \times 1 = P_a$ 다. 만약 위험 회피적이라면 기존의 P_a 의 값에 R 의 값을 $[0, 1]$ 의 균등분포에서 임의로 추출하여, 각 행위자의 추정 체포 확률에 곱한다. 상대적으로 체포 확률이 더 낮다.⁸⁾

시민은 자신이 현재 가진 불만(G)의 정도와 순 위험(N)의 값을 비교해 행동을 결정한다. 이론적으로 $G > N$ 이라면, 불만을 밖으로 표출할 것이고, $G < N$ 이라면 침묵한다. 단, 앱스타인(2002)은 수학적인 이유로 임계값 (critical value)을 0이 아닌 0.1로 설정하며, $G - N > 0.1$ 인 경우에는 불만을 표출하는 것으로 설정한다.

규칙 A : $G - N > 0.1$ (임계값)이면, 해당 시민은 불만을 밖으로 표출한다.
그렇지 않으면 침묵을 선택한다.

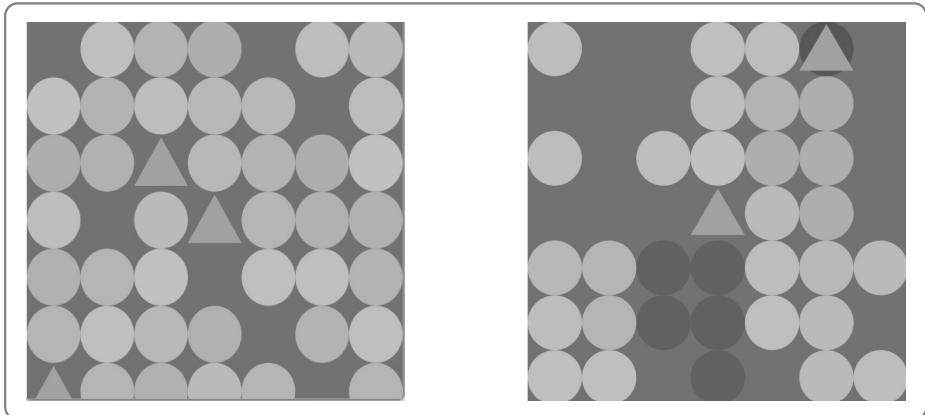
7) 이때 체포 확률을 계산하는 시민은 자기 자신을 A 에 포함하여 계산한다. 따라서 $A+1$ 이다.

8) 이 논문의 모든 모형 시뮬레이션에서 위험회피 시민집단의 R 값의 평균은 0.497~0.503의 범위다.

□ 경찰

경찰은 불만을 표출하고 있는 시민을 찾아, 체포하여 감옥에 수감 한다. 따라서, 다음과 같은 행동 규칙을 정한다- 경찰은 시야 범위 내의 모든 좌표를 조사하고 불만을 표출하는 상태의 시민을 무작위로 체포한다. 우선, 경찰 행위자는 자신의 시야 범위 내에서 불만을 표출하는 시민을 조사한다. 대상이 1인일 경우 그 행위자의 좌표로 이동해 체포한다. 체포 대상이 복수일 경우, 이 중 1인을 임의로 선택하고, 체포한다. 체포된 시민은 상태가 ‘수감 중’으로 변경되며, 연구자가 설정한 최대 감옥 형기 이하의 값 중 무작위로 선택된 형기를 살게 된다. 경찰의 시야에서 불만을 표출하는 시민이 없다면, 시야 내의 빈 곳으로 무작위로 이동한다. [그림 1]은 경찰의 체포 과정을 살펴볼 수 있도록 실제 컴퓨터 시뮬레이션의 구간화면을 따온 것이다. 세모 모양은 경찰 행위자이고, 동그라미는 시민 행위자이다. 시민 행위자는 불만을 표출하면 붉게 표시하고, 침묵하는 경우는 녹색으로 표시한다. [그림 1]의 오른쪽 윗단의 동그라미와 세모가 겹친 부분은 경찰이 불만을 표출하는 시민의 세포 공간으로 이동해 체포를 진행한 것이다. 체포당한 시민은 검게 표시되고, 형기 동안 움직일 수 없게 된다.

[그림 1] 경찰의 체포 과정



〈표 1〉과 〈표 2〉는 위에서 설명한 가상 세계의 설정(전역 매개변수)과 각 행위자의 설정(매개변수)을 표로 나타낸 것이다.

〈표 1〉 전역 매개변수

매개변수	값
좌표 공간	40×40
초기 시민 밀도	0.7
초기 경찰 밀도	0.04
정당성, L	0.8~0.9
체포 확률 상수, k	2.3
임계값, T	0.1
최대 형기 일수, J_{\max}	15~ ∞

〈표 2〉 행위자 속성과 값/범위

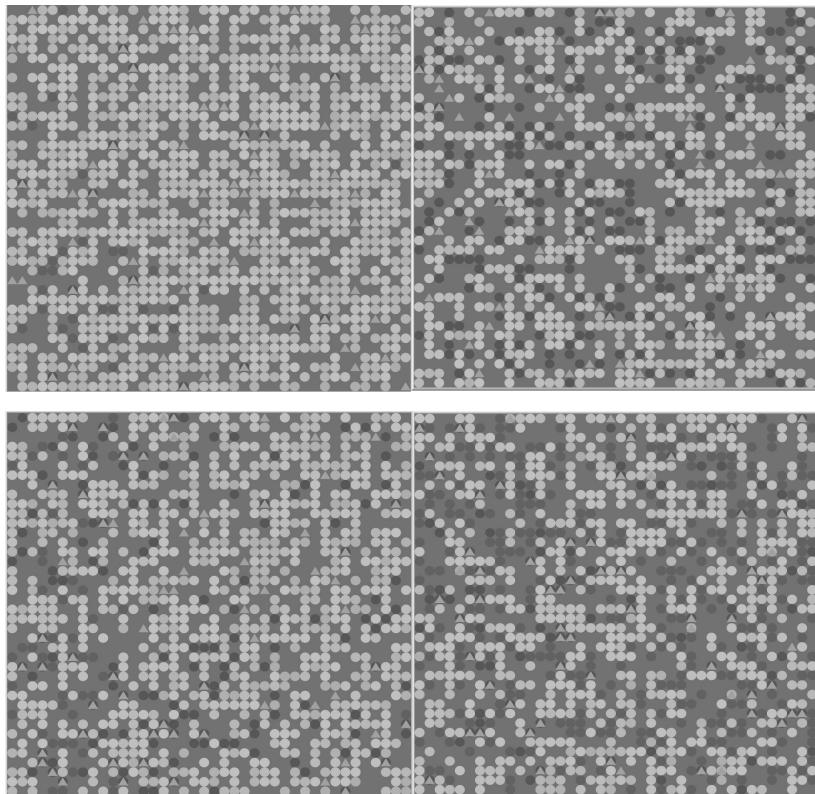
행위자 유형	매개변수	값/범위
시민	시야 범위, A_v	1.7-7
	고충, H	$\sim U(0,1)$ ⁹⁾
	위험 회피 성향, R	$\sim U(0,1)$
	불만, G	$= H \times (1-L)$
경찰	시야 범위, C_v	1.7-7

[그림 2]는 웹스타인(2002) 모형의 시뮬레이션 진행을 시각적으로 볼 수 있도록 틱(tick) 1회차, 틱(tick) 250회차, 틱(tick) 500회차, 틱(tick) 1,000회차 시점의 결과 화면을 따서 제시한 것이다. 틱(tick)은 시계의 시침처럼 ABM 모형에서의 시간 진행을 나타낸다. [그림 2]는 한 차례의 ABM 모형 시뮬레이션의 결과이고, 이 한 차례의 결과만으로 과학적 검증의 근거가 될 순 없다. 다만, 웹스타인

9) 0에서 1의 구간 값을 가진다.

(2002) 모형이 시간의 흐름에 따라 어떻게 진행이 되고, 가상 공간의 사회가 어떠한 변화를 겪는지를 보여주는 시각적 자료로서는 유용하다. 시간의 흐름에 따라 시민이 불만을 표출하고, 경찰은 이들을 체포하는 루프(loop)와 같은 과정을 잘 보여주고 있으며, 궁극적으로는 시민 개인의 불만이 대규모의 집단적 행동, 즉 집단적 분노 표출로 전환되는 과정을 시각적으로 보여준다.

[그림 2] 엘스타인(2002) 모형의 시뮬레이션 결과 화면



주 : 턱(tick) 1회차(왼쪽 위), 턱(tick) 250회차(오른쪽 위), 턱(tick) 500회차(왼쪽 아래), 턱(tick) 1,000회차(오른쪽 아래)의 결과

3. 앱스타인 모형의 결과

앱스타인(2002)에서 나타난 특징은 크게 세 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 시민 개인의 불만 표출이 다른 시민들은 물론 주변의 상황적 요인과 상호작용하면서 간헐적으로 집단화하고 조직적으로 표출되는 경향이 있다. 이는 복잡계 연구의 ‘창발’ 현상의 관점에 부합된다. 둘째, 시간의 흐름에 따라 불만을 표출하는 시민의 수 변화를 살펴본 결과, 진화 이론에 나타나는 단속 평형 이론(punctuated equilibrium)의 형태로 나타난다. 단속 평형이론은 자연과학의 진화 이론에 기반을 둔 것으로, 유성 생식을 하는 생물 종의 진화 양상을 긴 안정기와 짧은 분화 기로 나눈다. 생물은 진화의 전체 궤적에서 대부분의 시간 동안 큰 변화를 겪지 않다가, 짧은 기간에 급속한 종 분화하는 특징을 보인다(위키 백과, 2024). 셋째, 정부의 정당성이 매개변수로 작동할 때, 어떻게 변화를 주느냐에 따라 시민 폭동의 양상이 다르게 나타난다.

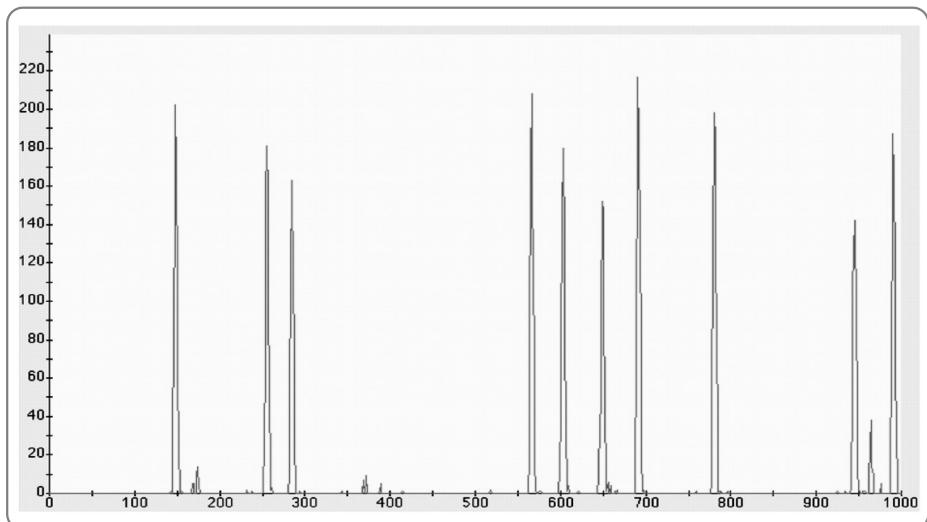
[그림 3]은 폭동에 참여하는 시민의 수를 시간의 흐름에 따라 나타낸 것이다.¹⁰⁾ 가로축은 틱으로 표시되는 시간의 흐름을 나타내며, 세로축은 각 시점에 불만을 표출한 시민의 수를 나타낸다. 붉은 선 그래프는 불만을 표출한 시민 수의 변화이다. 먼저, 1회차부터 1,000회차까지의 기간 중 불만을 표출하는 시민의 수가 100명 이상의 경우는 10차례이다.¹¹⁾ 또한, 불만을 표출하는 시민의 수는

-
- 10) 이 장에서 제시하는 앱스타인(2002) 연구의 재현 결과는 논문의 내용을 옮긴 것이 아니다. 앱스타인 모형을, 시뮬레이션을 통해 구현하고, 그 재현한 결과를 보고한 것이다. 이 장은 앱스타인 연구의 발견을 정리하여 독자에 제시하며, 이는 앱스타인의 공헌은 물론, (이 논문이 보완할) 앱스타인 연구의 한계를 보여주는 역할도 수행한다. 물론 앱스타인의 발견에 대해서, 그 결과에 대한 우리의 독자적인 해석 역시 제시한다. 우리는 다음 장에서 새로운 매개변수들을 소개하고, 이러한 매개변수가 모형의 결과에 어떠한 변화를 불러오는지를 정리한다. 궁극적으로, 앱스타인의 연구에서 나타난 분노한 대중의 결집이 순간적(spontaneous) 혹은 반응적이며, 집단적 분노의 일시적 표출은 될 수 있으나, 대중의 항시적 결집을 통해 체제 전복으로 확장되지는 않는 점을 지적한다. 다음 장에 새롭게 소개될 매개변수를 통해 이러한 앱스타인 연구의 한계를 보완한다.
 - 11) 앱스타인은 40명 이상이 분노를 표출하는 경우를 시민 폭동의 발생 기준으로 보았다. 위의 설명은 앱스타인보다 기준을 다소 높게 잡기는 했으나, 앱스타인의 기준을 적용해도 총 발생 수는 큰 변화가 나타나지 않는다.

갑자기 순간 올라가고, 이를 유지하지 못하고 급격히 하락한다.

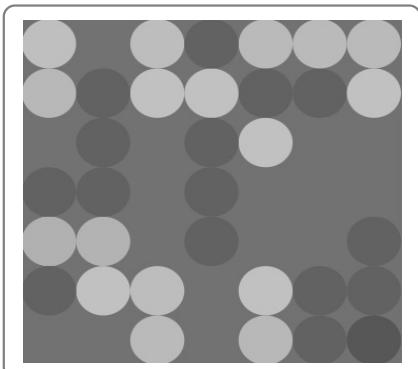
그렇다면, 이렇게 갑작스러운 스파이크(spike) 형태의 분노 시민 수의 급격한 상승과 하락은 어떻게 발생하는 것일까? 엡스타인은 자세히 설명하고 있지 않으나, 실제 시뮬레이션 진행을 모니터를 통해 느리게 확인하면, 이에 대한 하나의 답을 얻을 순 있다. 이는 시뮬레이션의 진행 중 우연히 특정 지역에 경찰의 수가 감소하면 발생하는데, 이러한 국지적 시민 집단행동이 초기에 발생했을 때, 해당 지역의 경찰 수가 부족하고, 다른 지역의 경찰이 이동하기 어려운 경우, 집단행동의 초기 진압이 늦다. 이는, 해당 지역의 다른 시민의 체포 확률을 낮추기 위해, 불만이 높았던 시민들을 중심으로 집단행동의 참여가 일시적으로 늘어나게 된다. [그림 4]는 시뮬레이션 상에 나타난 분노 시민의 순간적 상승과 하락의 원인으로 지목되는 ‘경찰의 공백 상태’를 보여준다. [그림 4] 역시 실제 시뮬레이션의 모니터 과정에서 경찰의 공백 상태의 부분을 따서 보인 것이다.

[그림 3] 시간 흐름에 따른 폭동 시민 수 변화: 엡스타인 연구의 재현

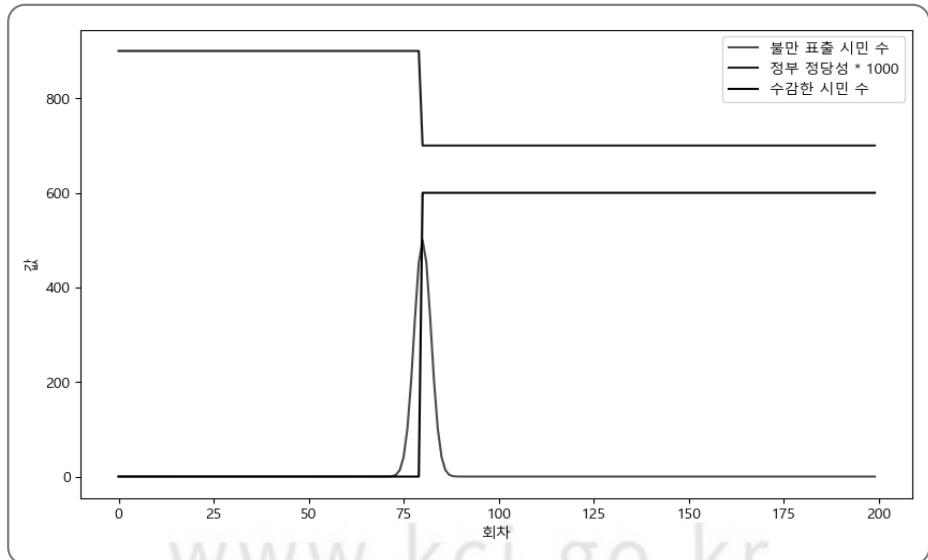


셋째, 정부의 정당성이 하락할 경우, 시민 폭동의 양상은 어떠할 것인가? 특히, 정부의 정당성이 특정 시점에 급격히 하락할 경우와 시간에 따라 점진적으로 내려가는 경우는 결과는 어떻게 다를 것인가? [그림 5]와 [그림 6]은 위 두 가지 경우의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. [그림 5] 정부의 정당성을 0.9에서 0.7로 갑작스럽게 내리고, 이후는 0.7을 유지하는 상황의 결과를, [그림 6]은 정부의 정당성이 시간의 지남에 따라 0.9에서 0으로 서서히 감소하는 상황의 결과를 보고한다. 빨간색 선은 폭동 시민 수, 검은색 선은 해당 시점 감옥에 갇힌 시민의 수이다. 두 선과 달리 파란색 선은 정부의 정당성 수준(기준점 0.9)의 변화를 나타낸다. 위의 두 선과는 성격이 다르지만, 하나의 그래프 안에

[그림 4] 국지적인 경찰의 공백 상태

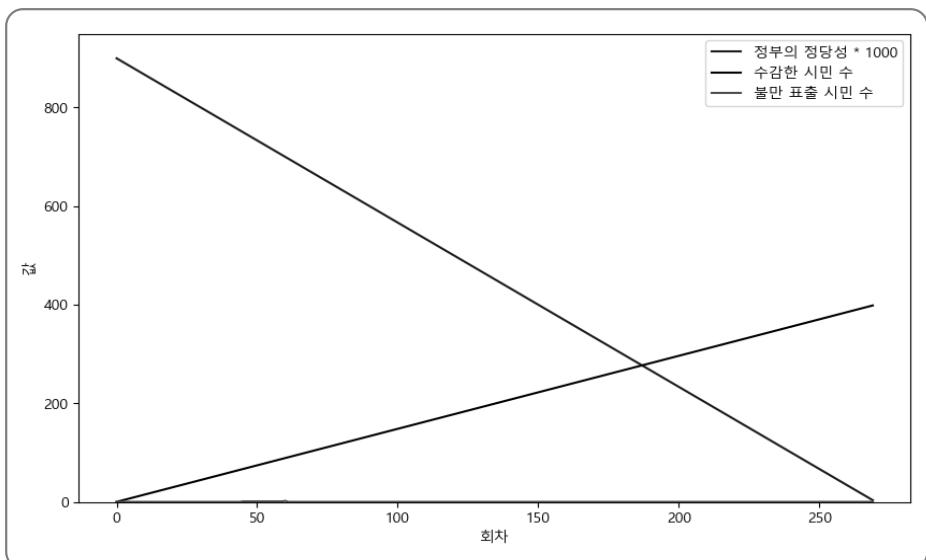


[그림 5] 정부 정당성(파란색 선)의 갑작스런 감소에 따른 불만 표출 시민 수(빨간 선) 변화



정부의 정당성 변화와 그에 따른 분노를 표출하는 시민의 수와의 관계를 보인다.¹²⁾ 정부의 정당성이 서서히 감소하는 경우 시민의 폭동이 거의 발생하지 않지만, 정당성이 특정 시점에 급격히 떨어지면 이와 맞물려 시민의 조직적인 행동이 발생한다.

[그림 6] 정부 정당성(파란색 선)의 점진적 감소에 따른 불만 표출 시민 수(빨간 선) 변화



엠스타인(2002)은 그간의 연구들이 답하지 못했던 ‘시민의 불만이 어떻게 집단의 분노 표출로 발전하는가?’에 대한 질문에 새로운 시각을 제시하며, 중요한 통찰 역시 제공한다(Lemos et al. 2013). 하지만, 모형에서 시민들의 집단적 분노의 표출, 혹은 시민 폭동은 순간적(spontaneous)이고, 짧은 반응의 정도이다. 집단의 분노는 우연한 순간에 갑작스럽게 발생하고, 바로 사라져 버린다. 마치 시민 폭동은 예상할 수 없는 순간 잠깐 나타났다 사라지는 스파이크(spike) 같고, 정체(polity)에 대한 일시적 충격(shock) 정도로 다뤄지고 있다. [그림 3]에

12) 정부의 정당성 수치에 1,000을 곱하여 시각화하였다.

나타난 것처럼 시뮬레이션 전 기간에 걸쳐 열 번의 집단적 분노 표출이 나타났지만, 그 사회는 원래의 상태로 돌아가 버린다. 하지만, 근현대의 다양한 혁명 등의 사례와 같이, 예측되지 않는 상황에서 폭발하듯 터진 시민들의 집단적 분노가 기존의 질서를 무너뜨린 다양한 사례들이 있다. 우리는 엡스타인의 연구에서 한 걸음 더 나아가 다음의 질문에 대한 답을 모색한다. 첫째, 집단으로 표출된 분노가 어떠한 과정을 거쳐 현재의 정체를 전복하는가? 둘째, 우연한 순간에 폭발하듯 터져 나온 집단의 분노를 지속하게 하고, 기존의 질서를 뒤집는 매개 요인은 무엇인가? 셋째, 이러한 혁명 혹은 체제 전복의 과정을 행위자 기반 모형을 통해 재현할 수 있는가?

다음 장은 이러한 질문에 대한 답을 모색한다. 먼저, 순간적인 단순한 집단 항의를 체제 전복으로 전환하게 하는 주요 매개변수를 제시하고, 이러한 변수를 포함한 모형 조정이 실제의 시뮬레이션에서 체제 전복을 발생하게 하는지를 확인한다. 주변의 영향, 정보의 확산, 시민 폭동의 국지적 성공과 정치적 정당성의 상충 관계 등이 매개변수로 활용된다. 이러한 변수를 포함한 모의실험은 일종의 가설 검증과 같은 기능을 수행한다. 추가된 변수가 실제 모의실험의 결과에서 체제 전복을 재현하는지, 그리고 그 결과가 반복된 실험에서 얼마나 안정적인지를 기준으로 해당 요인의 중요성을 평가한다. 이러한 접근은 체제 안정성에 영향을 미치는 다양한 요인을 통합적으로 탐구하고, 체제 전복의 동학을 이해하는데 중요한 기여를 할 것이다.

IV. 무엇이 단순한 집단 항의를 체제 전복으로 이끄는가?

엡스타인 모형의 확장

1. 매개변수 1: 이웃으로의 확산 (Neighboring Effects)

우리는 먼저 '이웃으로의 확산' 효과를 반영한 매개변수를 엡스타인의 모형에

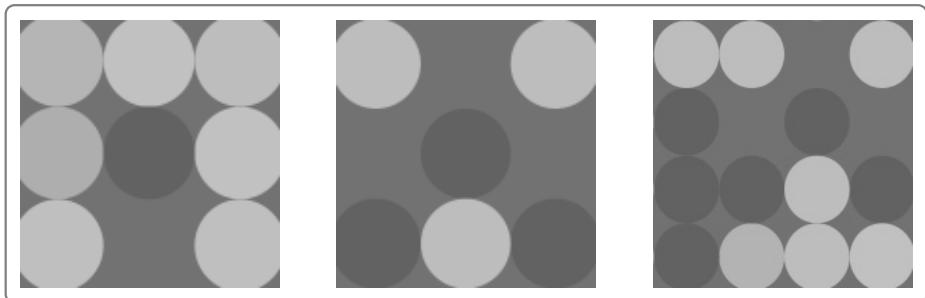
포함한다. 개인의 결정과 행동은 주변 사람의 영향에 의해 다양한 영향을 받는다. 이른바 이웃 효과에 따른 창발 현상에 대해선 여러 연구자가 주목해 왔다 (Schelling 1969; Granovetter 1978). 쉘링(Schelling 1969)은 이웃 효과에 기반한 개인의 주거지 결정 모형을 제시한다. 사람들은 자신과 비슷한 이웃이 일정 비율 이상이길 원하며, 이러한 기준의 충족 여부에 따라 거주지를 결정하기도 한다. 이러한 개인 차원의 결정이 거시적으로는 인종 간 분리 거주(racial segregation)의 패턴으로 나타나는 것을, 모의실험을 통해 보인다. 그라노벳터(Granovetter 1978)는 이웃 효과와 군중 심리의 관계를 주장한다. 특정 의견을 주장하는 이웃의 수가 특정한 임계점(critical points)을 넘으면, 개인은 이러한 이웃의 의견에 동조하는 경향이 있고, 이는 군중 심리를 형성하게 된다. 이러한 군중 심리는 집단적 폭동의 기저 요인으로 작용한다.

우리는 이러한 이웃으로의 확산 효과를 윌렌스키의 산불 모형(Wilensky 2006)에서 산불이 주변 지역으로 퍼지는 과정에 차안하여 모형으로 포함하였다. [그림 1은 모형에 포함한 ‘이웃으로의 확산’ 과정을 설명한다. 먼저 분노를 표출하는 시민이 등장할 경우, 다음 기에 이웃으로 이러한 분노가 확산할 확률이 5%라고 하자. 왼쪽 그림과 같이 분노를 표출하는 시민(붉은색 원)이 있다. 일곱 명의 이웃의 현 상태는 ‘침묵’하고 있다. 하지만, 분노를 표출하는 시민과 이웃하고 있기에, 일정 정도의 확률로 행동을 동조할 가능성이 있다.¹³⁾ 이웃은 다음 행동을 결정하기에 앞서 확률을 지칭하는 무작위로 0에서 100 사이의 숫자를 부여받는다. 만약 이웃이 부여받은 숫자가 95보다 크다면 (96, 97, 98, 99, 100), 이 이웃에 대해선 ‘이웃으로의 확산’ 효과가 적용되어 분노를 표출한다. 만약 부여받은 수가 95보다 적을 경우는 현 상태인 ‘침묵’을 일단 유지하고, 개인적 불만(G)의 계산 단계로 들어간다. 이는 매 회차 반복되며 오른쪽 그림과 같이 이웃 사이에 폭동이 번지는 패턴이 발생하게 된다. 개별 행위자는 이웃의 행동에 무작정 영향을 받는 것이 아니라 개인의 성향에 따라 영향이 다름을 반영한다. 이를 규칙 N(Neighbor)으로 규정하면 아래와 같다.]

13) 무어(Moore)의 4방향 이웃을 적용한다. 시민이 없는 남쪽 공간을 제외한 이웃의 수는 3명이다.

규칙 N(Neighbor) : 분노를 표출한 시민의 이웃들은 0~100의 임의의 정수를 부여받는다. 만약 이웃으로의 확산 확률이 5% 미만이라면, 96 이상의 정수값을 부여받은 이웃은 분노를 표출하게 된다. 95 이하의 정수값을 부여받은 이웃은 현 상태를 유지한다.

[그림 7] 이웃 확산 전(왼쪽), 이웃 확산 1(중간), 이웃 확산 2(오른쪽)



2. 매개변수 2: 정보의 확산 (정보의 확산)

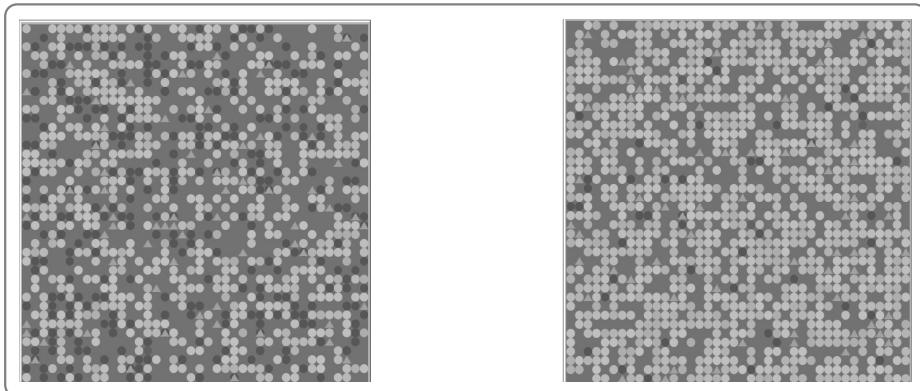
다른 시민이 분노를 표출하고 있다는 정보는 개인의 결정과 행동에 영향을 줄 수 있다. 정보의 확산은 사람들이 집단적 저항과 시위, 폭동에 참여하는 동기가 된다(Bennett and Segerberg 2012; Kuran and Sunstein 1999; Tufekci 2017). 정보는 의도적으로도, 우연하게도 전달될 수 있고, 정보의 전달은 국지적 차원의 집단 저항을 전역적으로(global) 상호 연결하는 역할을 할 수 있다. 다른 이가 왜 분노하고 있고, 이를 광장에서 표출해야 하는지를 알게 되면, 혹은 현재 상태의 문제점에 대한 정보를 알게 되면, 행동에 아직 나서지 않았던 다른 시민의 참여를 끌어내기가 보다 쉬울 수 있다.

정보의 우연한 (혹은 의도적인) 확산에 대한 이론적인 논의와는 달리, 이러한 정보의 확산과정을 매개변수로 만들고, 그 과정을 프로그래밍으로 정리하는 일은 단순하진 않다. 우리는 산불 모형(Wilensky 2006)의 불똥 튀김의 ‘점프 프로그래밍 프로시저(jump programming procedure)’를 응용하여, 이러한 정보 확산

에 따른 저항의 확산을 모형으로 만들었다. 산불은 일단 시작되면 대부분 주변의 수목으로 번지게 되지만, 불씨가 살아있는 나뭇가지나 채 등이 바람을 타고 날아가 주변 지역에서 불을 일으킬 수 있다. 다만, 불티가 새로운 화재를 일으킬 가능성 자체는 적다. 이러한 낮은 확률에도 사건이 발생한다면, 화재는 또 다른 지역에서 다시 시작될 수 있다.

[그림 8]은 다른 이가 불만을 표출하였다는 정보가 주변의 지역으로 어떻게 전달되는지를 넷워크 프로그램상의 그림으로 나타낸다. 왼쪽 그림과 같이 불만을 공개적으로 표출한 시민이 나타나면, 이러한 정보는 일정 범위 내의 시민들에게 전달될 수 있다. 불만을 표출한 시민에게는 각각 0~100 범위의 숫자가 임의로 배정된다. 만약 배정받은 숫자가 연구자가 설정한 정보 확산의 확률보다 높으면 오른쪽 그림과 같이 시야 범위 외에 있는 조용한 시민 중 한 명을 무작위로 선정하여 공개적으로 분노를 표출하게 만든다. 정보 확산의 확률의 과정은 정보의 수여자가 받은 정보를 무조건 수용하지도 않을뿐더러, 정보의 수용 자체가 행동으로 직접 연결되기는 어렵다는 점을 반영하기 위한 것이다. 정보의 특성상 특정한 지역에 국한되지 않으며, 광장 전체에 범위의 제한 없이 전파될 수 있음도 감안 한다. 이를 규칙 J(Jump)로 규정하면 아래와 같다.

[그림 8] 정보 전달 전(왼쪽)과 정보 전달 후(오른쪽)



규칙 J(Jump) : 불만을 공개적으로 표출하는 시민은 그러한 정보를 광장의 다른 시민에게 전달할 가능성이 있다. 이들은 0~100 사이 임의의 정수값을 부여 받는다. 만약 정보 전달 확률이 5%라면, 96 이상의 정수값을 받은 시민은 광장 내의 임의의 1인의 상태도 ‘분노의 표출’로 바꿀 수 있다. 이러한 과정은 회차를 진행하며 반복된다.

3. 매개변수 3: 정치적 정당성(L)과 집단 투쟁의 국지적 성공, 정치적 억압 수준의 변화

개인이 불만을 공개적으로 표출하는 것은 체제에 반하는 행위이며, 그 규모의 차이는 있으나 정치 체제의 정당성에 영향을 준다. 앱스타인(2002)의 연구는 정부의 정당성을 일종의 사용자 지정 값으로 고정하며, 불만을 표출하는 시민의 수의 변화나 집단적 항의의 국지적 성공에도 영향받지 않는다. 우리는 정체가 가진 정치적 정당성의 값이 상수가 아니라 변수(variable)이어야 한다고 주장한다. 그리고, 이러한 정치적 정당성은 수감 시민의 수가 늘어나고, 항의하는 시민의 수가 늘어나는 등의 불안정한 사회 상태를 반영할 수 있어야 한다고 주장한다. 우리는 이를 반영하기 위해 레모스 외(Lemos et al 2013)가 제시한 시민의 ‘정치적 정당성 피드백’ 특성 함수를 응용해 시민들이 인지하는 정부의 정당성을 광장 내의 환경 변화에 따라 새롭게 반영하는 함수로 다시 만들었다.¹⁴⁾

$$L^* = L_t - w \times ((\text{Narrests} + \text{Nactive}) / N_{\text{citizens}}) \quad \langle \text{수식 } 3 \rangle$$

L^* : 변화를 반영한 새로운 정당성

L_t : 현 시점의 정당성

w : 가중치

($\text{Narrests} + \text{Nactive}$) : 수감된 시민 수 + 폭동에 참여한 시민 수

14) 원형 공식은 $L^* = L_t - (\text{Narrests} / N_{\text{citizens}}) - A_f \times (\text{Nfights} / N_{\text{citizens}})$ 이다. 시간에 따라 새롭게 반영하는 공식을 만들었다. 본 논문의 모형에서는 ‘언론’ 행위자가 따로 존재하지 않고 경찰과 시민의 투쟁 행위를 역시 포함하고 있지 않기 때문에 다음과 같은 공식으로 변형했다.

Ncitizens: 전체 시민 수

L^* 은 정당성 감소를 반영한 새로운 정부의 정당성, L_t 는 현재의 정부 정당성 값이다. 'Narrests'는 현재 수감 중인 사람의 숫자이며, 'Nactive'는 현재 광장에서 불만을 표출하는 시민의 수이다. 전체 시민 중 수감 중이거나 불만을 표출하는 시민의 비중이 높으면 정부 정당성의 수치가 줄어들게 되는 현상을 반영한다. w 는 정당성의 급격한 하락을 방지하기 위한 가중치로, 전체 시민 인구 중 개인이 느끼는 정부에 대한 불신을 반영하기 위해 0.001로 놓는다.¹⁵⁾

정부의 정당성이 내려가면 불만을 공개적으로 표출하는 시민들을 억압하기가 어려워지며, 정권의 그 사회에 대한 통제의 악력(grip)이 약해질 수 있다. 이를 반영하여 '시민의 저항 정도에 따라 일부의 경찰이 무력화하고, 전반적으로 경찰력이 감소하는' 규칙을 추가한다. 경찰은 앱스타인(2002)의 모형에서 단순히 불만을 표출하는 시민을 잡는 수동적 행위자였다. 우리는 경찰을 정부의 정당성 변화에 따라 단속 행위의 이익을 계산하고, 주변 상황의 변화에 대처하는 규칙을 가진 적극적 행위자로 모형에 반영한다.

〈표 3〉은 경찰이 새롭게 갖게 된 속성과 부여되는 값의 범위를 정리한다. 경찰의 이익 함수의 구조는 시민의 불만 함수의 구조를 원용한 것이다. 정부의 정당성이 높은 상황에서 경찰의 단속 행위는 더 큰 보상을 얻는다. 경찰은 광장의 불만 시민을 단속하기에 현장에서 갖는 고충이 있다. 경찰의 고충(H^*)은 0~0.5 범위의 임의의 값으로 정한다. 정부의 정당성이 높을 때, 그리고 검거 활동에 수반되는 고충이 적을 때, 경찰의 체포 행위가 갖는 이익은 커진다. 이를 식으로 나타내면 경찰의 이익(Incentive, I^*)= 정부의 정당성 L^* ($1 - H^*$)이 된다. 경찰 역시 위험 중립적인 성향과 위험 회피적인 성향으로 구분한다. 위험 중립적인 경찰의 R^* 값은 1로 설정하며, 위험 회피적인 경찰의 R^* 값은 최소 0, 최대 0.5의 범위 [0, 0.5]를 갖는 균등분포에서 임의로 추출하여 경찰 별로 할당한다.

15) 전체 인구수 1,120명에서 수감된 인원을 제외해야 했기에, 계산의 용이성을 위해 0.001로 설정했다.

〈표 3〉 경찰 행위자 속성과 값/범위

매개변수	값
시야 범위, C_v	지정값
정체에 대한 체포 역할에 따른 보상, I^*	$L \times (1 - H^*)$
체포 과정에서의 고난, H^*	$\sim U(0,0.5)$
위험 회피성향, R^*	$\sim U(0,0.5)$
체포 확률 상수, k	2.3
임계값, T^*	0.1

분노한 시민 가운데 홀로 단속에 뛰어든 경찰을 떠올려 보자. 엡스타인(2002)의 경찰은 ‘환경에 굴하지 않고’ 이 들 중 한 명을 임의로 체포하여 감옥에 보낸다. 하지만, 이러한 가정은 현실적이지 않다. 분노한 시민에 둘러싸인 경찰이 무리해서 시민의 체포를 시도할 경우, 그러한 검거는 효과적이지 않고, 경찰 스스로에 대한 안전도 장담할 수 없다. 또한, 시민의 다수가 공개적으로 분노를 표출하고 있다는 것은 현재의 정체가 안정적이지 않을 뿐 아니라, 정당성도 상실하고 있음을 보여준다. 우리는 경찰의 시야에 분노를 공개적으로 참여하는 시민의 수가 압도적으로 많은 상황에선 경찰이 체포를 멈추는 규칙을 새롭게 포함한다. 경찰의 체포 활동 중단의 확률함수(P_c)는 로지스틱 분포의 형태를 가지며, 시야 내의 경찰의 수와 분노를 표출하는 시민의 수에 따라 변화한다.

$$P_c = 1 - \exp(-k \times \lfloor (A/C + 1)_v \rfloor) \quad \langle \text{수식 } 4 \rangle$$

(P_c : 체포 활동 중단의 확률함수 / \exp : 지수함수 / k : 압도 확률 상수 / A : 시야 내의 폭동 시민 수 / C : 시야 내의 활동 경찰 수 / v : 시야 범위)

P_c 는 경찰의 체포 활동 중단의 확률함수, A 는 행위자의 시야 내에 존재하는 폭동 시민 수이며, C 는 경찰 행위자의 시야 내에서 활동 중인 경찰 수이다.¹⁶⁾

16) 이때 체포 확률을 계산하는 시민은 자기 자신을 C 에 포함하여 계산한다. 따라서 $C+1$ 로 설정한다.

k 는 상수로, 시야 내의 경찰과 폭동 중인 시민의 수가 각각 1일 때, P_c 의 추정치가 0.9가 되게 하며, 2.3의 값을 갖는다. 경찰의 순 위험(N^*)은 $R^* \times P_c$ 함수로 설정한다.

규칙 CA(Cops Arrest) : 만약 $I^* - N^* > T^*$ 라면, ‘불만을 표출하는’ 상태의 시민을 ‘체포’한다; 그렇지 않다면 경찰은 체포를 중단하고 ‘활동하지 않는’다.

4. ABM 시뮬레이션의 기본 설정

위의 모든 모형은 아래와 같은 설정을 한다. 세포 공간은 40×40 , 1,600개의 세포 공간으로 설정한다. 초기 시민 밀도는 0.7, 총 1,120명의 시민을 배치하고, 초기 경찰 밀도는 0.04, 총 64명의 경찰이 배치된다. 정부 정당성의 초기값은 0.82로 웹스타인의 시민 봉기 모형의 설정값과 같다. 행동 기준점인 임계값 역시 원형 모형의 설정값인 0.1로 지정하며, 수감 기간은 0~30의 수에서 임의로 할당된다. 〈표 4〉는 ABM 시뮬레이션의 기본 설정을 표로 정리한다.

〈표 4〉 ABM 시뮬레이션의 기본 설정과 공통 매개변수

매개변수	값
좌표 공간	40×40
초기 시민 밀도	0.7
초기 경찰 밀도	0.04
정당성, L	0.82
체포 확률 상수, k	2.3
임계값, T	0.1
최대 형량 일수, J_{\max}	30

이웃으로의 확산 모형과 정보의 확산 모형의 시뮬레이션은 확산의 확률을 0.2, 0.3, 0.4로 설정하여 시뮬레이션을 반복 시행한다. 또한, IV장의 세 개의 매

개변수의 종합적 영향 및 상호작용을 파악하기 위해 모든 변수를 포함한 모형 시뮬레이션 역시 반복 시행하였다. 모든 모형은 정해진 조건에 따라 각각 50회의 시뮬레이션을 진행하였다.

V. 모의실험의 결과

이 장은 위에 도입한 매개변수들이 불만을 표출하는 시민 수에 미치는 영향을 분석하고, 이에 따라 체제 전복으로 전환하는 과정을 모의실험을 통해 구현하고 있는가를 평가한다. 이에 대한 비교 준거로서 앱스타인(2002) 모형을 모의실험을 통해 구현한 결과도 함께 제시한다.¹⁷⁾

1. 비교의 준거 - 앱스타인(2002)의 결과

〈표 5〉와 그림 9는 앱스타인(2002) 모형의 모의실험 결과이다. 앱스타인의 모형을 다시 재현한 결과를 보고하기에, 앱스타인(2002) 논문의 결과와 완전히 일치하지는 않는다. 보고하는 지표의 값은 물론, 이에 대한 해석 역시 이 연구가 독자적으로 끌어낸 것이다 (물론 앱스타인 연구의 전반적인 발견과 배치되지 않는다). 개별 시뮬레이션은 1,000회차까지 진행했으며, 모두 50회 실시하였다. 〈표 5〉의 결과는 불만을 표출하는 시민의 수, 평균 수감 횟수, 시민의 순 위험 평균, 시민의 체포 확률 평균의 4개의 지표의 기초 통계량이다. 시뮬레이션의 각 회차에서 불만을 표출하는 시민 수의 평균은 40.9명이고, 표준편차는 79.4명이다. 모형의 각 회차에는 불만을 드러내는 시민이 한 명도 없는 회차도 있고(최솟값 0명), 불만을 터뜨리는 시민이 400명에 가까운 회차도 있다(최댓값 395명).

17) 정부의 정당성과 억압 수준 변화 모형을 제외한 모든 모형의 기술통계 값에서 '시민의 위험회피 평균', '시민의 고충 평균', '시민의 불만 평균' 값들은 ± 0.005 범위 내로 나와 보고에서 제외한다.

엡스타인 모형의 경우 불만 시민의 집단화가 우연히, 간헐적으로 발생한다. 표준 편차가 평균의 값보다 두 배 가까이 크다는 것은 모의실험의 전 회차에서 불만 시민 수의 편차의 차이가 크다는 것을 짐작하게 한다. 평균 수감 횟수는 각 모의실험 1,000회 차까지의 기간 중 전체 시민의 수감 건수의 평균으로, 약 2.1회로 나타난다. 평균 수감 횟수는 불만을 표출하는 시민의 수와 비례하며, 뒤의 매개변수를 추가한 모형에 대한 모의실험에서 결과를 비교할 수 있는 주요한 지표가 된다. 만약 매개변수를 추가한 모형에서 불만을 표출하는 시민의 수가 증가한다면, 평균 수감 횟수 역시 함께 증가할 것이다.

시민의 순위험(N)은 개별 시민이 불만을 표출하였을 때 경찰에 의해 체포될 확률 × 위험에 대한 태도(중립적/회피적)로 계산하며, 평균은 0.39이다. 특정한 상황에서 이 값은 0.51에 이르기도 한다. 시민의 체포 확률의 평균은 0.788로 상당히 높게 나타난다. 시민이 불만을 표출하였을 때 10번 중 8번에 가깝게 경찰에 의해 체포될 가능성이 있다고 해석된다. 논문의 모든 모형에서 경찰의 초기 밀도는 0.04로 설정된다. 세포 공간 100개당 4명의 경찰이 배치되는 것으로, 경찰의 수치상 밀도는 그다지 크지 않다. 하지만, 경찰의 시야가 7 세포 공간으로 설정되어 있어, 전체 광장의 치안 공백은 그다지 크게 나타나지 않는다. 상당히 높은 시민의 체포 확률은 이러한 맥락에서 해석될 수 있을 것이다.

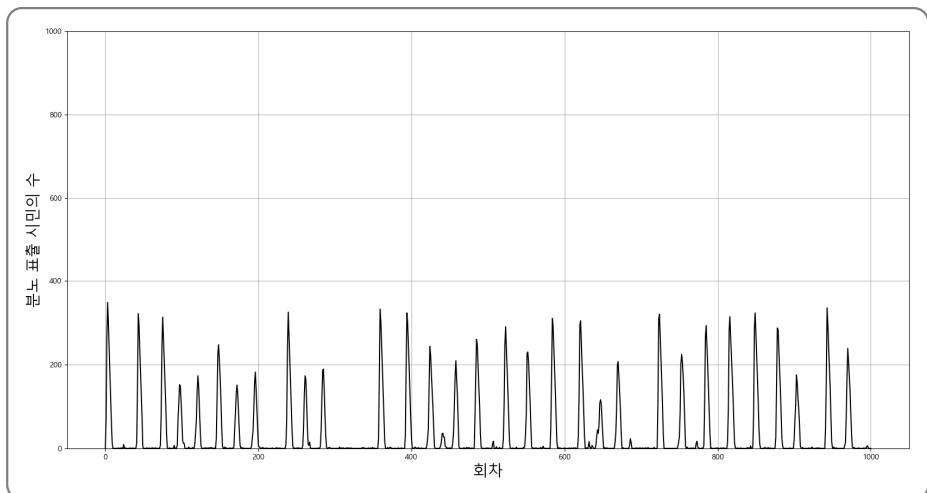
[그림 9]는 에პ스타인 모형의 모의실험 50회의 결과 중 하나를 임의로 선택해, 그 결과를 시각화한 것이다.¹⁸⁾ 시민의 집단적 불만 표출은 예측할 수 없는 시기에 간헐적으로 발생한다. 그리고, 그 집단적 불만의 표출은 바로 다음 회차, 혹은 그 다음다음 회차에 빠르게 사라진다. 앞에서 살펴본 바와 같이 자전거의 스파이크가 연속해서 나열된 형태를 띠며, 정체는 빠르게 안정을 찾는다.

18) 다른 49회차의 모의실험의 결과도 이와 유사한 형태로 나타난다. 50회차의 결과를 하나의 그림으로 나타낼 경우, 왜곡된 정보를 제공할 가능성이 있기에, 대표성이 있는 실험 하나의 결과를 그림으로 보인다.

〈표 5〉 엡스타인 모형의 기술통계표

	평균	표준편차	최솟값	최댓값
불만표출시민	40.945	79.331	0	395
평균수감횟수	2.140	1.312	0	5.307
시민의 순위험평균	0.393	0.175	0	0.509
시민의 체포확률평균	0.788	0.351	0	0.999

[그림 9] 엡스타인 모형의 불만 표출 시민 수 변화



2. 이웃으로의 확산 모형의 결과

〈표 6〉은 이웃 확산 모형의 시뮬레이션 결과이다. 이웃으로의 확산 모형은 확산 확률의 설정에 따라 0.2, 0.3, 0.4의 세 가지 모형에 대해 모의실험을 수행한다. 확산 확률을 0.05, 0.1, 0.15로 설정한 모형의 모의실험에서는 엡스타인 모형의 결과와 거의 차이가 발생하지 않았다. 이는 현재의 모형 설정에서 확산 확률은 0.2 이상으로 높이 설정해야만, 어느 정도로 결과의 차이가 나타난다는 의

미이기도 하다. 이웃 확산 확률이 제일 낮은 0.2부터 0.4까지 엡스타인의 모형보다 불만을 표출하는 시민 수가 다소 늘었다(40.9명 → 51.4명, 62.6명, 83.8명). 평균 수감 횟수 역시 엡스타인(2.1회)에 비교해 조금 늘어난다 (2.4회, 2.7회, 3.1회). 시민의 순위험 평균과 시민의 체포 확률 평균 둘 다 이웃 확산이 증가할 수록 떨어지고 있으며, 이는 불만을 표출하는 시민 수의 증가와 경찰에 대한 비율의 변화에 기인한다. 이웃으로의 확산횟수는 확산 확률이 증가할수록 그 수가 늘어난다. 하지만, 새로운 매개변수를 도입해 모형을 수정하면서 기대한 효과에는 미치지 못할 만큼, 그 증가의 폭은 크지 않다.

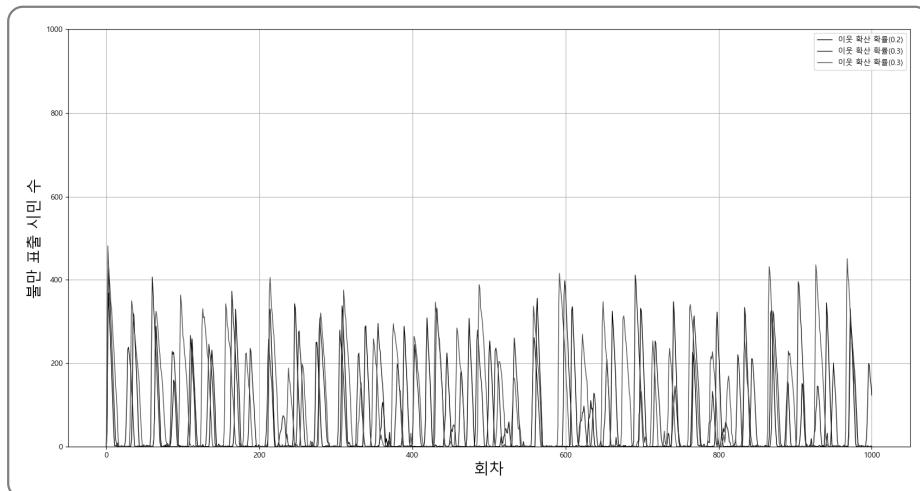
〈표 6〉 이웃 확산 모형의 확산 확률별 기술통계표

	평균	표준편차	최솟값	최댓값
불만표출시민(0.2)	51.431	90.015	0	426
불만표출시민(0.3)	62.614	97.594	0	458
불만표출시민(0.4)	83.879	110.129	0	510
평균수감횟수(0.2)	2.412	1.351	0	5.471
평균수감횟수(0.3)	2.715	1.350	0	5.639
평균수감횟수(0.4)	3.166	1.351	0	5.854
시민의순위험평균(0.2)	0.372	0.190	0	0.520
시민의순위험평균(0.3)	0.346	0.200	0	0.528
시민의순위험평균(0.4)	0.304	0.214	0	0.510
시민의체포확률평균(0.2)	0.745	0.379	0	1.000
시민의체포확률평균(0.3)	0.695	0.402	0	1.000
시민의체포확률평균(0.4)	0.609	0.428	0	1.000
확산횟수(0.2)	2656.480	1506.660	0	6076
확산횟수(0.3)	6402.140	3624.160	0	13976
확산횟수(0.4)	12621.400	7095.530	0	28465

주: ()안의 수치는 이웃으로의 확산 확률이다.

[그림 10]은 이웃 효과 변수를 포함한 50개의 시뮬레이션 결과 중 하나를 임의로 선택하고, 그 결과를 그래프로 보고한다. 확산 확률 0.2, 0.3, 0.4가 각각 적용된 세 개의 그래프가 함께 그려졌다. 앱스타인 모형과 비교할 때 불만을 표출한 시민의 수는 다소 늘어났다. 하지만, 여전히 집단의 불만 표출은 뾰족하고 좁은 삼각기등의 모양이며, 그 발생과 소멸의 패턴은 앱스타인의 연구와 크게 다르지 않다. 정리하면, 이웃 확산의 효과를 매개변수로 포함하더라도, 불만을 표출하는 시민의 수는 다소 늘어나긴 하지만, 이와 함께 시민의 평균 수감 횟수 역시 증가하고, 순 위험의 평균과 체포 확률의 평균 역시 함께 커진다. 결국, 단순한 시민 불만의 순간적 집결에 그칠 뿐, 사회의 다수 시민의 폭넓은 참여를 끌어내는 체제 전복으로 이어지진 않았다.

[그림 10] 이웃 확산 모형의 불만 표출 시민 수 변화



3. 정보 확산 모형의 결과

〈표 7〉은 정보 확산 모형의 시뮬레이션 결과이다. 정보 확산의 확률을 0.2, 0.3, 0.4로 설정한 세 가지 모형에 대해 모의실험을 진행한다. 이웃 확산 모형과

수치는 약간 다르지만 크게 다르지 않은 결과가 나타난다. 불만을 표출하는 시민의 수는 늘고, 이와 함께 평균 수감 횟수도 함께 증가한다. 시민이 처한 순위 험과 체포의 확률은 평균적으로 약간 줄었다. 하지만, 전반적으로 앱스타인의 모형에 비해 큰 폭의 변화는 나타나지 않는다. [그림 11]은 정보 확산 모형의 불만을 표출하는 시민 수의 변화를 회차 수의 변화에 따라 그래프로 나타낸다. 분노를 표출하는 시민의 총수가 약간 늘기는 하나, 그 발생과 소멸의 패턴은 앱스타인은 물론, 이웃 모형과 크게 다르지 않다. 불만의 집단 표출이 스파이크의 형태로 회차 수의 전반에 반복적으로 나타나지만, 우리가 기대하는 짧은 주기를 가진 분노의 순간 표출이 아닌 큰 폭의 참여를 동반하는 체제 전환의 현상은 나타나지 않았다.¹⁹⁾

〈표 7〉 정보 확산 모형의 확산 확률별 기술통계표

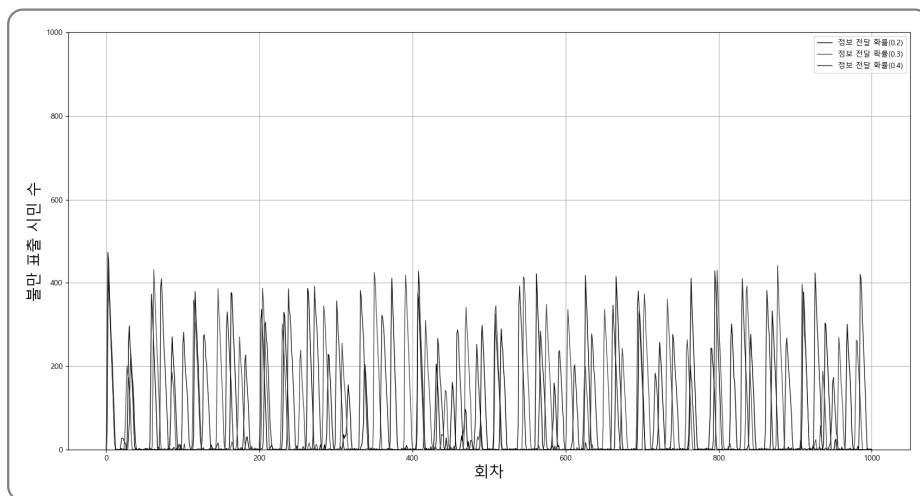
	평균	표준편차	최솟값	최댓값
불만표출시민(0.2)	53.891	97.424	0	481
불만표출시민(0.3)	60.809	104.988	0	478
불만표출시민(0.4)	68.096	113.796	0	517
평균수감횟수(0.2)	2.497	1.485	0	5.932
평균수감횟수(0.3)	2.692	1.546	0	6.124
평균수감횟수(0.4)	2.848	1.624	0	6.505
시민의순위험평균(0.2)	0.374	0.195	0	0.522
시민의순위험평균(0.3)	0.362	0.204	0	0.529
시민의순위험평균(0.4)	0.350	0.208	0	0.516

19) 이웃 효과와 정보의 전달 효과가 결합 되었을 경우는 시민의 다수가 참여하고, 그 수가 유지 혹은 증가하는 체제 전환이 나타날 것인가? 모형에 두 매개변수를 모두 포함하고, 이웃 확산과 정보 확산의 확률을 0.4로 설정한 모형의 모의실험 역시 수행하였다. 그 결과 각 분봉 별 분노를 표출하는 시민의 수는 하락의 폭이 다소 완만하긴 했으나, 여전히 날카로운 스파이크 분봉의 형태로 나타난다. 집단적 불만의 표출은 여전히 급격히 일어나고, 빠르게 사라지게 되고, 기대하는 체제 전환의 현상은 나타나지 않았다. 이러한 모의실험의 결과는 [첨부 1]을 참조하라.

	평균	표준편차	최솟값	최댓값
시민의체포확률평균(0.2)	0.747	0.390	0	1.000
시민의체포확률평균(0.3)	0.723	0.406	0	1.000
시민의체포확률평균(0.4)	0.704	0.418	0	1.000
정보확산횟수(0.2)	6043.010	3399.870	0	13631
정보확산횟수(0.3)	9611.830	5460.850	0	21173
정보확산횟수(0.4)	13622.200	7672.180	0	30070

주: ()안의 수치는 이웃으로의 확산 확률이다.

[그림 11] 정보 확산 모형의 불만 표출 시민 수 변화



4. 정당성을 변수로, 경찰을 환경에 대응하는 행위자로 설정한 결과

<표 8>은 위 장의 매개변수 3을 포함한 모형에 대해 모의실험을 시행한 결과이다. 두 가지 측면에서의 차이가 있다. 첫째, 정부의 정당성을 고정값이 아닌 환경 변화에 따른 변수로 처리한다. 둘째, 경찰을 수동적 겸거자가 아닌, 역시 환경의 변화에 따른 행위자로 설정하고, 그에 따른 행위 규칙을 제시한다. 앞서

언급된 모형들과의 결과의 두드러진 차이는 불만을 표출하는 시민의 수의 평균 값이 약 366.2명으로 나타난 것이다. 앞선 모형들의 경우 40.9명(엡스타인 모형), 이웃 효과모형(51.4~ 83.9명), 정보의 확산 모형(53.8~68.1명)으로 최소 약 3배에서 5배 이상으로 늘었다.

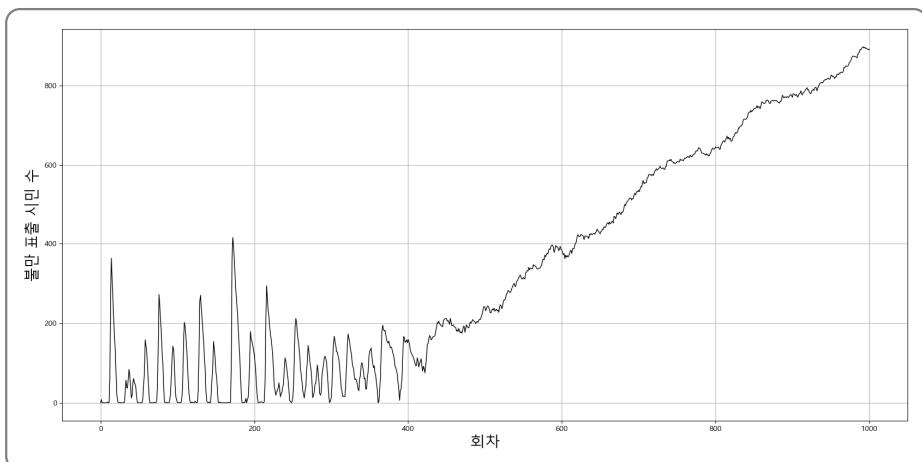
〈표 8〉 정부 정당성과 억압 수준 변화 모형의 기술통계값

	평균	표준편차	최솟값	최댓값
조용한경찰(감소한 억압 수준)	27.274	18.182	0	64
체포경찰(억압 수준)	36.726	18.182	0	64
경찰의위협회피평균	0.247	0.018	0.215	0.291
경찰의고난평균	0.254	0.018	0.213	0.303
경찰의인센티브평균	0.395	0.153	0.060	0.645
경찰의순위협평균	0.247	0.020	0	0.291
경찰의행동결정공식평균	0.148	0.155	-0.225	0.645
불만표출시민	366.237	302.226	0	1013
평균수감횟수	3.512	1.663	0	6,713
시민의위협회피평균	0.501	0.008	0.486	0.521
시민의고난평균	0.499	0.009	0.477	0.515
시민의불만평균	0.236	0.102	0.086	0.473
시민의순위협평균	0.091	0.169	0	0.521
시민의행동결정공식평균	0.145	0.244	-0.429	0.473
시민의체포확률평균	0.182	0.337	0	1.000
정부의정당성	0.528	0.204	0.082	0.820

왜 이러한 증가가 나타난 것인가? 우선, 기존의 확장 모형이 정부의 정당성 수치와 체포 경찰의 수를 고정하였지만, 이 모형에선 두 수치 모두 처음 시작보다 감소하였다. 기존 모형들은 경찰의 수는 64명, 정부의 정당성은 0.82로 고정 이지만, 이 모형에선 (체포에 임하는) 경찰 수는 약 36.7명, 정부의 정당성은 0.52까지 줄었다. 정부의 정당성이 감소하고, 시민에 둘러싸인 경찰이 검거를 포

기하고 나면, 체포 경찰의 수가 줄어들게 된다. 이 경우 광장의 곳곳에서 치안 공백의 상황이 더 빈번하다. 이는, 불만을 공개적으로 드러내는 시민의 체포 확률을 낮춘다. 이웃 확산과 정보 확산 모형 시민의 순 위험과 체포 확률 평균인 0.24과 0.48과 비교했을 때, 이 모형에서는 순 위험 평균은 0.091, 체포 확률의 평균이 0.18로 크게 줄었다. 순 위험과 체포 확률의 감소는 시민들이 더 적극적으로 불만을 표출하게 하고, 궁극적으로 불만 시민의 수를 크게 높인다.

[그림 12] 정부의 정당성과 억압 수준 변화 모형의 폭동 시민 수 변화

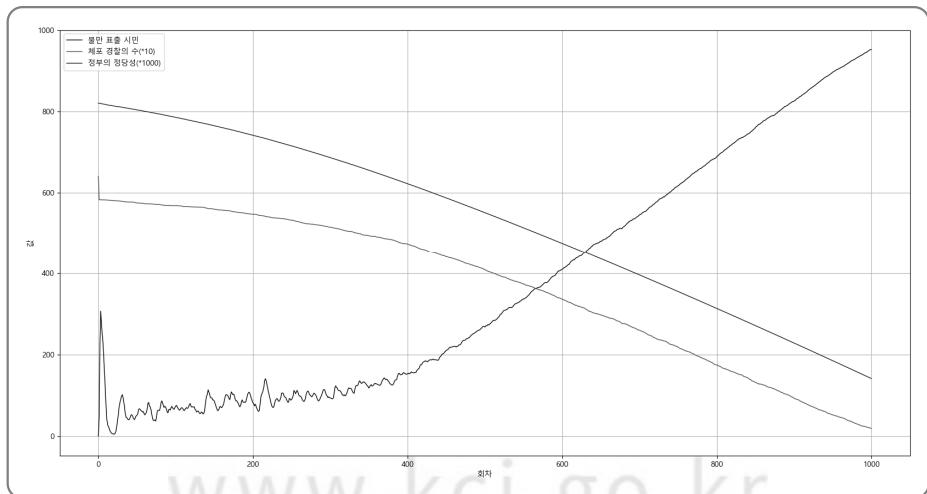


[그림 12]는 모형의 모의실험 결과 중 하나를 임의로 선택해 시행 회차의 변화에 따라 불만 표출의 시민 수의 변화 추이를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프의 400회차까지는 앱스타인이나 이웃 효과, 정보의 확산 모형의 결과와 비슷한 패턴을 보이나, 400회 이후의 특정한 순간을 기점으로 광장에서 불만을 토로하는 시민의 수가 급격하게 늘어난다. 마지막 1,000회차에는 900여 명이 넘는 시민이 광장에서 정부에 대한 불만을 토로한다. 이러한 결과는 정부의 정당성 하락과 특정 지역에서의 치안 공백의 상황에 따른 순 위험 및 체포 확률의 하락이 상승 효과를 일으킨 것으로 보인다.

[그림 13]은 불만을 표출하는 시민의 수의 변화와 정부의 정당성, 체포하는 경

찰의 수의 변화를 함께 시각화한 그래프이다. 단위가 다른 세 개의 자료를 하나의 그래프로 표기하기 위해, 체포 경찰의 수에는 10을 곱하고, 정부 정당성 수준에는 1,000을 곱하였다. 400회차를 기준으로 정부의 정당성은 약 0.63 정도로 감소했고, 이에 영향을 받아 체포 경찰 수는 약 50명 수준까지 감소한다. 체포 경찰이 줄어드는 것은 치안 공백을 발생시키고, 이는 더 많은 시민의 시위 참여에 대한 위험을 줄여, 더 많은 시민이 광장에서 불만을 드러내게 한다. 특히 400회차 이후 특정한 시점에서 모형의 결과는 특이점(tipping points)을 지나고, 본질적인 변화를 겪는다. 불만을 토로하는 시민의 수는 이 전까지는 일정한 폭으로 등락을 거듭하였다면, 이 시점을 이후로 광장의 상황은 완전히 바뀌게 된다. 사회의 거의 대다수가 현재의 정체에 대해 불만을 공개적으로 드러내며, 기존의 체제는 무너지게 되는 체제 전환의 상황으로 전환된다. [그림 14]의 왼쪽 그림은 400회차 시점의 불만 표출 상태를 보여준다. 노란색 세모는 체포 상태를 멈추고 조용한 상태로 전환한 경찰을 나타낸다. 노란색 세모 주변으로 분노하는 시민들이 출현하고 있는 것을 확인할 수 있다. 오른쪽 그림은 450회차 시점에서 치안 공백이 발생한 공간을 보여준다. 여전히 체포를 수행하는 경찰들이 있지만, 조용

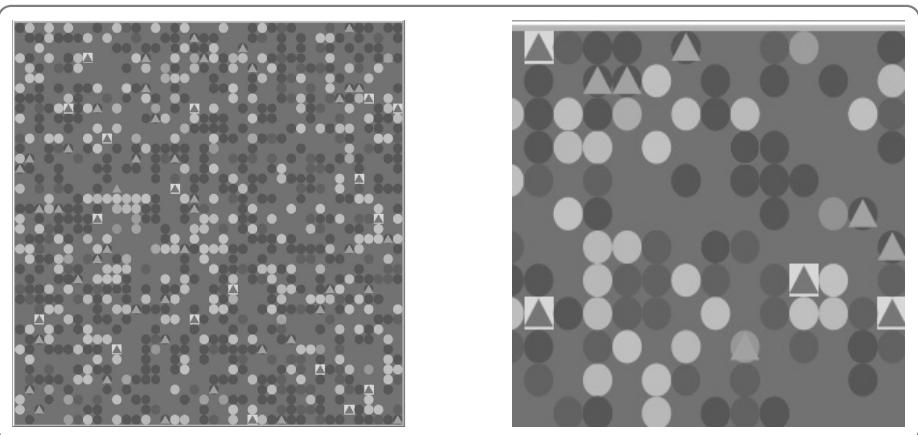
[그림 13] 정부의 정당성과 억압 수준 변화 모형의 시간에 따른 평균 불만 표출 시민 수, 체포 경찰 수, 정부의 정당성의 변화



한 상태의 경찰 주변으로 많은 시민이 분노하고 있는 것을 확인할 수 있다.

결론적으로 이 모형의 모의실험 결과는 체제 전환의 상황을 재현할 수 있었다. 불만을 토로하는 시민과 체포되는 시민의 수가 늘어나는 것은 독립 사건이 아니라, 궁극적으로 정부의 정당성 수준을 낮춘다. 우연히 발생하는 상황에서 경찰이 시위대에 둘러싸여 수적으로 밀리는 상황에 있으면, 해당 경찰은 그러한 상황에선 이들 중 하나를 체포할 수 없다. 전체 경찰의 모수가 줄어들게 된다. 400회차를 지나고 두 가지 요소가 우연히 결합 되면 그 이전까지의 결과와 질적으로 다른 현상이 발생하게 된다. 단순한 불만 표출이 어떤 계기를 거쳐 사회 대다수의 참여를 이끌고, 궁극적으로는 체제의 전환을 가져온다.

[그림 14] 400 회차 시점에서의 상태(왼쪽)과 450회차에서 치안 공백 상태(오른쪽)



VI. 결 론

이 연구는 앱스타인(2002)의 한계를 비판적으로 검토하고 이를 확장하려는 시도에서 출발했다. 앱스타인은 개인의 불만이라는 미시적 동기가 집단적 저항으

로 발전하는 과정을 행위자 기반 모형(ABM)을 통해 설명하며, 기존 연구에서는 다루기 어려웠던 동적인 상호작용의 과정을 구체적으로 드러냈다. 그러나 앱스타인의 연구는 집단적 저항을 순간적이고 일시적인 현상으로 간주하며, 체제 전복과 같은 더 극단적이고 지속적인 사회 변화를 설명하는 데에는 한계가 있었다. 본 연구는 앱스타인의 모형을 확장하여, 집단적 저항이 체제 전복으로 이어질 수 있는 메커니즘을 설명하고자 하였다.

이 연구는 앱스타인의 모형에 몇 가지 중요한 요소를 추가하여 체제 전복의 복잡한 과정을 재현했다. 이웃 효과와 정보 전달 효과, 시민 소요 및 구속자의 확대에 따른 정부 정당성의 하락, 그리고 국지적 성공으로 인해 경찰력이 무력화되는 현상을 모형에 반영함으로써, 단순히 순간적 충격이 아니라 장기적인 체제 변화의 가능성을 탐구했다. 특히, 정부 정당성을 고정값이 아닌 동적인 변수로 설정하고, 경찰을 환경과 상호작용하는 독립적인 행위자로 간주함으로써, 모형의 현실성을 한층 높였다. 이러한 확장을 통해, 사회 구성원의 대다수가 체제에 공개적으로 불만을 표출하는 상황, 즉 체제 전환의 현상을 모형 상에서 재현했다.

이 연구는 행위자 기반 모형이 가진 장점과 한계를 동시에 보여준다. 이 방법론은 비선형적이고 복잡한 사회적 상호작용을 설명할 수 있는 강력한 도구이지만, 그 과정에서 몇 가지 도전과제를 동반한다. 첫째, 모형의 적합성은 우리가 설명하고자 하는 현상의 본질을 얼마나 잘 재현하는지에 달려 있으므로, 연구자의 해석과 독자의 판단이 중요하다. 둘째, 행위자 기반 모형은 기존의 수리적·통계적 접근과는 다른 과정 중심의 접근법을 요구하며, 이는 국내의 학계에서 충분히 알려지지 않았다. 마지막으로, 익숙하지 않은 컴퓨팅 언어와 프로그래밍 기술이 필요하다는 점에서 접근성이 제한적일 수 있다. 그러나 이러한 한계를 극복한다면, 행위자 기반 모형은 사회과학의 다양한 문제를 탐구하는 데 있어 강력한 도구가 될 수 있을 것이다.

결론적으로, 이 연구는 앱스타인(2002)의 모형을 확장함으로써 집단적 저항이 체제 전복으로 이어지는 과정을 깊이 이해하고자 했다. 이 연구는 단순히 결과를 제시하는 데 그치지 않고, 동적인 상호작용과 과정 중심의 접근을 통해 복잡

한 사회적 현상을 설명하고자 하는 시도를 담고 있다. 향후 연구에서는 이러한 방법론이 더 많은 사회과학 연구자에게 받아들여지고 활용될 수 있기를 바란다.

참고문헌

- 가상준(2016). “공공갈등에 대한 시민의식 분석: 연령대별 변화와 지속의 관점에서.” *『분쟁해결연구』*, 14-3: 129-162.
- 가상준(2024). “공공갈등 해결에 있어 정부의 역할: 시민들은 어떤 기대감을 갖고 있는가?” *『분쟁해결연구』*, 22-2: 41-71.
- 강병노(2020). “갈등이론에서 갈등에 관한 이론적 비교.” *『분쟁해결연구』*, 18-1: 5-34.
- 고대유(2022). “공정성과 사회갈등 인식이 정부신뢰에 미치는 영향.” *『분쟁해결연구』*, 20-1: 147-170.
- 김명상 · 김주경(2022). “공공갈등 해결에 미치는 영향요인 분석: 정부신뢰, 시민단체, 이념대립, 공론조사를 중심으로.” *『분쟁해결연구』*, 20-2: 67-95.
- 김영준(2015). “에이전트 기반 모델(Agent-Based Model)과 그 정치학적 적용.” *『평화연구』*, 23-1: 443-476.
- 심성지(2020). “환경 분쟁에 있어서 시민저항운동: Stuttgart21(1994~2011)분쟁을 중심으로.” *『분쟁해결연구』*, 18-3: 91-118.
- 임재형(2019). “한국의 시민단체가 공공갈등에 미치는 영향: 기간과 강도를 중심으로.” *『분쟁해결연구』*, 17-1: 75-105.
- 윤영수(2005). *『복잡계개론』*. 삼성경제연구소.
- Bennett, W. Lance and Alexandra Segerberg(2012). “The Logic of Connective Action: Digital Media and the Personalization of Contentious Politics.” *Information, Communication & Society*, 15-5: 739-768.
- Cioffi-Revilla, Claudio and Mark Rouleau(2010). “MASON RebeLand: An Agent-Based Model of Politics, Environment, and Insurgency.” *International Studies Review*, 12-1: 31-52.
- Collier, Paul and Anke Hoeffler(1998). “On Economic Causes of Civil War.” *Oxford Economic Papers*, 50-4: 563-573.
- Collier, Paul and Anke Hoeffler(2004). “Greed and Grievance in Civil War.” *Oxford Economic Papers*, 56-4: 563-595.

- Epstein, Joshua M.(2002). "Modeling Civil Violence: An Agent-Based Computational Approach." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99-3: 7243-7250.
- Epstein, Joshua M.(2006). *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton University Press.
- Fearon, James D. and David D. Laitin(2003). "Ethnicity, Insurgency, and Civil War." *American Political Science Review*, 97-1: 75-90.
- Granovetter, Mark(1978). "Threshold Models of Collective Behavior." *American Journal of Sociology*, 83-6: 1420-1443.
- Gurr, Ted(1968). "Psychological Factors in Civil Violence." *World Politics*, 20-2: 245-278.
- Huntington, Samuel P.(1972). "Civil Violence and the Process of Development." *The Adelphi Papers*, 11-83: 1-15.
- Lemos, Carlos, Rui Jorge Lopes and Helder Coelho(2015). "On Legitimacy Feedback Mechanisms in Agent-Based Modeling of Civil Violence." *International Journal of Intelligent Systems*, 31-2: 106-127.
- Lemos, Carlos M.(2017). *Agent-Based Modeling of Social Conflict*. SpringerBriefs in Complexity.
- Rule, James B.(1992). *Theories of Civil Violence*. University of California Press.
- Schelling, Thomas C.(1969). "Some Remarks on Models of Non-Additive Collective Action." *The American Economic Review*, 59-2: 488-493.
- Sunstein, Cass R. and Timur Kuran(2007). "Availability Cascades and Risk Regulation." John M. Olin Program in Law and Economics Working Paper No. 364.
- Tufekci, Zeynep(2017). *Twitter and Tear Gas: The Power and Fragility of Networked Protest*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Wilensky, Uri(2006). "NetLogo Fire Simple Extension 3 Model." Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University, Evanston, IL. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/FireSimpleExtension3>.

Wilensky, Uri and William Rand(2015). *Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social and Engineered Complex Systems with NetLogo.* Cambridge, MA: MIT Press.

Wikipedia contributors(n.d.). “단속 평형이론.” Wikipedia. Retrieved November 17, 2024, from https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%8B%A8%EC%86%8D_%ED%8F%89%ED%98%95%EC%9D%B4%EB%A1%A0.

● Abstract

“From Civil Violence to Regime Overthrow: An Extension of Epstein’s Agent-Based Model”

*Kang, Ji Hun** · *Kim, Junseok***

This article expands on Epstein(2002)'s civil violence model to explore how collective resistance evolves into regime overthrow. While Epstein's work demonstrated the dynamics of how individual grievances can escalate into collective resistance through agent-based modeling (ABM), it treated such resistance as a temporary phenomenon, lacking an explanation for sustained systemic change like regime overthrow. This research extends Epstein's model by incorporating key parameters such as neighborhood effects, information diffusion, declining government legitimacy, and the weakening of law enforcement, to reconstruct the model and replicate the dynamics of regime overthrow through computer simulations. The results reveal that by treating government legitimacy as a dynamic variable and law enforcement as decision-making agents interacting with their environment, the process of long-term systemic change initiated by social resistance can be explained. This study highlights both the potential and the limitations of ABM, providing new insights and methodological contributions to understanding complex social phenomena in the social sciences.

* Graduate Student, Dept. of Political Science and Diplomacy, Dongguk University in Seoul

** Professor, Dept. of Political Science and Diplomacy, Dongguk University in Seoul

Key words : Civil violence, Agent-Based Model (ABM), Government legitimacy,
Regime overthrow

논문투고일 : 2024.11.15

심사완료일 : 2024.12.22

게재확정일 : 2024.12.24

[첨부 1]

이웃 확산과 정보 확산 두 모형에서 모두 새로운 매개변수의 추가가 폭동 시민 수 및 봉기의 규모를 일부 증가시킨다. 하지만 추가한 매개변수들이 독립적으로 적용됐을 때 체제 전복으로의 전환은 발생하지 않았다. 따라서 매개변수들이 복합적으로 작용했을 때 혁명으로의 전환이 발생하는지 확인하기 위해 이웃 확산과 정보 확산 확률을 각각 최대치인 40%로 설정하여 시뮬레이션을 진행했다.

□ 이웃, 정보 확산 모형

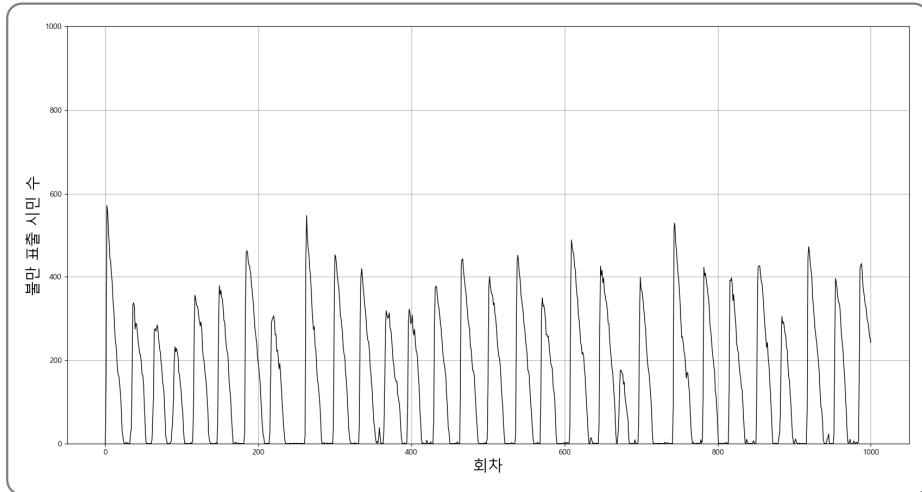
〈표 9〉 이웃, 정보 확산 모형의 기술통계표

	평균	표준편차	최솟값	최댓값
불만표출시민	126.090	136.437	0	603
평균수감횟수	3.964	1.528	0	6.623
시민의순위험평균	0.243	0.229	0	0.522
시민의체포확률평균	0.483	0.454	0	1.000
확산횟수	14070.600	7938.460	0	31255
점프횟수	17326.900	9712.220	0	38719

〈표 9〉는 이웃 확산과 정보 확산을 추가한 모형의 결과이다. 불만을 표출하는 시민의 수는 많이 늘어난다. 시민 순 위험과 체포 확률 역시 다른 모형들과 비교했을 때 낮아진다. 체제의 전복으로 상태가 전환되는지 확인하기 위해 다른 모형들과 똑같이 모형 시뮬레이션 결과에서 무작위로 1개의 결과를 선택해 그래프로 시각화했다.

[그림 15]는 시간에 따른 불만 표출 시민 수 변화를 보여준다. 매개변수들이 개별적으로 적용됐을 때의 불만 표출 시민 수 변화와 비교했을 때 평균 봉기의 규모가 더 커진 것을 확인할 수 있으나, 여전히 봉기들이 발생했다가 진압되는 과정을 반복하고 있는 것을 볼 수 있다.

[그림 15] 이웃, 정보 확산 모형의 폭동 시민 수 변화



다만, 분노하는 시민의 규모가 커짐에 따라 진압까지 걸리는 시간이 증가했다는 것을 유추할 수 있다. <표 10>은 각 확산 확률 모형별 봉기의 시작과 진압까지 걸리는 시간의 평균 주기를 나타낸 표이다.

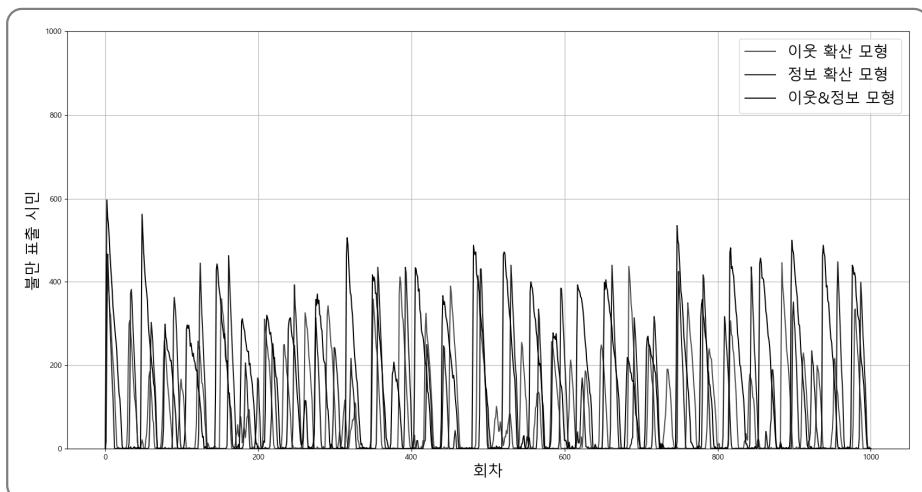
<표 10> 모형별 평균 폭동 지속 주기

	평균
엡스타인모형	4.652
이웃확산모형(0.2)	5.582
이웃확산모형(0.3)	6.666
이웃확산모형(0.4)	8.834
정보확산모형(0.2)	5.055
정보확산모형(0.3)	5.409
정보확산모형(0.4)	5.668
이웃, 정보모형(0.4)	12.149

엠스타인 모형에서의 평균 봉기 지속 주기는 4.65이다. 이웃 확산 모형의 경우 확산 확률이 증가할수록 평균 봉기 지속 주기가 8.83까지 증가하는 것을 확인할 수 있다. 정보 확산 모형의 경우 확산 확률의 증가가 평균 지속 주기에 크게 미치는 영향은 없다.

[그림 16]은 모형별 평균 주기를 시각화한 그래프이다. 초록색 선이 이웃 확산 모형, 파란색 선이 정보 확산 모형, 검은색 선이 이웃 확산과 정보 확산을 모두 적용한 모형이다. 검은색 선의 주기가 다른 두 모형보다 긴 것을 확인할 수 있다. 다만 세 모형 모두 봉기가 진압되지 않고 점진적으로 규모가 증가하는 체제 전복으로의 전환은 발생하지 않았다.

[그림 16] 모형별 봉기 주기 변화



[첨부 2]

1. 이웃 확산 모형의 코드 중 일부

```

; 이웃 확산 코드
to spread-activation
if neighbors-activation? and random 100 > 1 - probability-of-spread [
;; 분노를 표출하고 있는 시민의 이웃에게 1부터 100 사이의 난수를 부여
let inactive-neighbors neighbors4 with [ any? agents-here and [not active?] of
one-of agents-here ]
let spread-count 0
ask inactive-neighbors [
ask agents-here [
if not active? and random 100 > 1 - probability-of-spread [
;; 침묵하고 있는 이웃일 경우, 부여받은 난수가 설정한 확산 확률보다 높다면
set active? true
;; 이웃에 영향을 받아 분노를 표출함
set spread-count spread-count + 1
]
]
]
set total-spread-activation total-spread-activation + spread-count
]
end

```

2. 정보 확산 모형의 코드 중 일부

```

; 정보 확산 코드
to random-jump-activation
if jump-activation? and random 100 > 1 - probability-of-spread [
;; 분노를 표출하는 시민에게 1부터 100 사이의 난수를 부여
let inactive-agent one-of agents with [ not active? and jail-term = 0 ]
if inactive-agent != nobody [
;; 침묵하고 있는 시민이 존재할 경우
ask inactive-agent [

```

```

        set active? true
;; 정보에 영향을 받아 분노를 표출함
        set total-random-jump-activation total-random-jump-activation + 1
    ]
]
]
end

```

3. 정당성을 변수로, 경찰을 환경에 대응하는 행위자로 한 코드 중 일부

; 경찰의 속성

```

cops-own [
    risk-aversion*
    perceived-hardship*
    incentive*
    net-risk*
    probability-overwhelmed*
    quiet?
]

```

; 경찰의 행동 공식

```

to calculate-incentive-and-risk
    set incentive* government-legitimacy * (1 - perceived-hardship*)
    let a_c count agents-on neighborhood
    let c_c 1 + count (cops-on neighborhood) with [ incentive* - net-risk* ] threshold
]
    set probability-overwhelmed* 1 - exp (- k * floor (a_c / c_c))

    set net-risk* risk-aversion* * probability-overwhelmed*
end

```

; 경찰의 행동 코드

```

to enforce
    calculate-incentive-and-risk
; 경찰의 행동 공식 결과값을 계산
    ifelse incentive* - net-risk* > threshold [
        set quiet? false

```

```
if any? (agents-on neighborhood) with [ active? ] [
; 만약 임곗값보다 높다면, 시민을 체포
    let suspect one-of (agents-on neighborhood) with [ active? ]
    move-to suspect ; move to patch of the jailed agent
    ask suspect [
        set active? false
        set jail-term random max-jail-term
    ]
]
; 만약 경찰의 행동 공식의 결과가 임곗값보다 낮다면, 침묵함
[
set quiet? true
]
end
```

```
;정부 정당성 계산
to update-legitimacy
let jailed-count count agents with [jail-term > 0]
let rebellious-count count agents with [ active? ]
if count agents > 0 [
    set government-legitimacy max (list 0 (government-legitimacy - 0.001
((jailed-count / count agents) + (rebellious-count / count agents))))*
]
end
```